STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l.
CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.
VIA MINCIO, 22 – C.A.P. 20139 **M I L A N O** TEL. 02.5393977 – FAX 02.5392262
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it

SONDAGGI GEOGNOSTICI GEOTECNICI AMBIENTALI GEOARCHEOLOGICI – PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE INDAGINI E RICERCHE GEOLOGICHE E IDROLOGICHE - PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI - PROSPEZIONI GEOFISICHE GEOELETTRICHE - RILIEVI TOPOGRAFICI
C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO – COD.FISC.-PART.IVA 05092310969 – SOA 3405AL/57/01

Milano, Luglio 2024

Prot. 7600/E

Spett.le
DATA4 PMO by Hill International
Via Monzoro n. 101 – CORNAREDO (Milano)

SETTIMO MILANESE (MI)

VIA REISS ROMOLI, 35

REALIZZAZIONE EDIFICIO DC15

RELAZIONE GEOLOGICA R1R3
Redatta ai sensi
D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011
D.M. 17 gennaio 2018 (Aggiornamento delle N.T.C.)

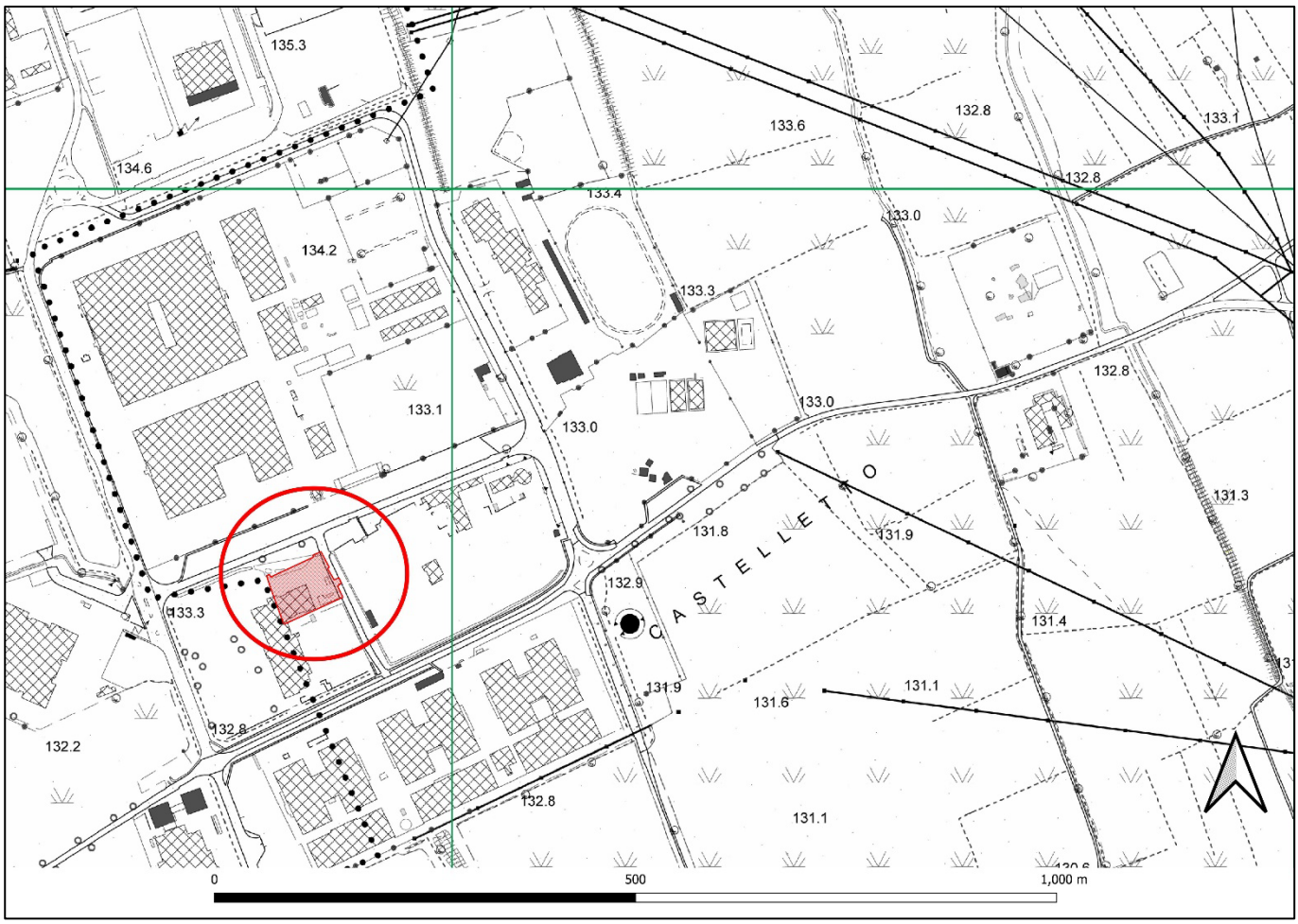
Dott. Geol. Luigi Maurizio Paternò

REVISIONE	DATA	PROTOCOLLO	REDATTO	CONTROLLATO	AUTORIZZATO
1.0	29/07/2024	7600/E	LMP	GCC/LMP	GCC

SOMMARIO

1.0 PREMESSA E PROGETTO EDILIZIO ____ 3
2.0 VINCOLI E CLASSIFICAZIONE SISMICA ____ 4
2.1 Vincoli idrogeologici ____ 4
2.2 Classificazione sismica ____ 5
3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO ____ 7
3.1 Ubicazione geografica ____ 7
3.2 Inquadramento geomorfologico ____ 7
3.3 Inquadramento geologico ed idrogeologico ____ 7
4.0 ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA ____ 10
4.1 Pericolosità geomorfologica e idrogeologica ____ 10
4.2 Scenari di rischio sismico: pericolosità sismica locale ____ 10
4.2.1 Scenari di rischio sismico: verifica liquefazione ____ 11
4.2.2 Dati in ingresso ____ 11
4.2.3 Elaborazione e risultati ____ 11
5.0 MODELLO CONCETTUALE, INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO - TECNICO 12
5.1 Modello concettuale ____ 12
5.2 Indagini geognostiche dirette ____ 12
5.3 Modello geologico – tecnico ____ 13
6.0 CONCLUSIONI ____ 14

1.0 PREMESSA E PROGETTO EDILIZIO



Il presente documento ha lo scopo d'illustrare i caratteri geologici di un'area sulla quale è progettata *la realizzazione di un Edificio Pluripiano a servizio del "Data Center DC15" ubicato nel Comune di Settimo Milanese (MI). Il fabbricato ha un piano a livello piano terra e tre piani fuori terra con una superfice totale di 13.453 m^2 di cui in a P.T. 4.400 m^2. Le dimensioni in pianta sono 72,80 m x 60,40 m circa e l'altezza massima del tamponamento è circa a 20,00 m.*

L'area è iscritta a catasto ai mappali 67,27,159 Foglio 15 del Catasto Comunale di Settimo Milanese (I700) ed ha accesso da 20019 - via Reiss Romoli, 35.

Le norme tecniche utilizzate per impostare struttura e contenuto del presente documento sono omogenee alle linee normative fissate con DECRETO MINISTERIALE (INFRASTRUTTURE) 14 GENNAIO 2008 - APPROVAZIONE DELLE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (**NTC 2008**) - G.U. N. 29 DEL 4 FEBBRAIO 2008 AGGIORNATE CON DECRETO MINISTERIALE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI 17 GENNAIO 2018- AGGIORNAMENTO DELLE «**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**» - SUPPLEMENTO ORDINARIO ALLA G.U. N. 42 DEL 20 FEBBRAIO 2018 - SERIE GENERALE.

La legislazione locale di riferimento per la redazione del presente rapporto è il D.G.R. Regione Lombardia IX/2616 del 30 novembre 2011.

2.0 VINCOLI E CLASSIFICAZIONE SISMICA

2.1 Vincoli idrogeologici

In base all'attuale PGT Comunale[1] l'area è indicata in piano in classe di fattibilità **3b - Fattibilità con consistenti limitazioni**

Sottoclasse 3b: Settori con ridotti valori di soggiacenza della falda, mediamente inferiori a 4 m dal p.c. Per le aree ricadenti in questa classe, l'edificabilità può comunque essere generalmente attuata con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi e/o di preventiva salvaguardia idrogeologica o geotecnica, opportunamente dimensionati sulla base delle risultanze di indagini geognostiche, idrogeologiche e geotecniche puntuali che dovranno valutare puntualmente le condizioni limitative caratteristiche di questa classe. In questa classe di fattibilità, preliminarmente ad ogni intervento edificatorio, dovranno essere eseguiti studi che, oltre ottemperare a quanto richiesto in merito dal D.M. 17 gennaio 2018, dovranno essere finalizzati alla definizione della profondità, morfologia e consistenza del substrato di fondazione, previa esecuzione di idonee indagini geognostiche (quali sondaggi e prove penetrometriche). Le indagini geologiche e geotecniche dovranno in ogni caso consentire la definizione della locale situazione idrogeologica e dei parametri geomeccanici caratteristici, da utilizzare per il corretto dimensionamento delle strutture fondazioni, con verifiche geotecniche finalizzate al calcolo della capacità portante e dei cedimenti in relazione ai carichi di progetto e dall'analisi dei fenomeni di stabilità dei versanti. "[2].

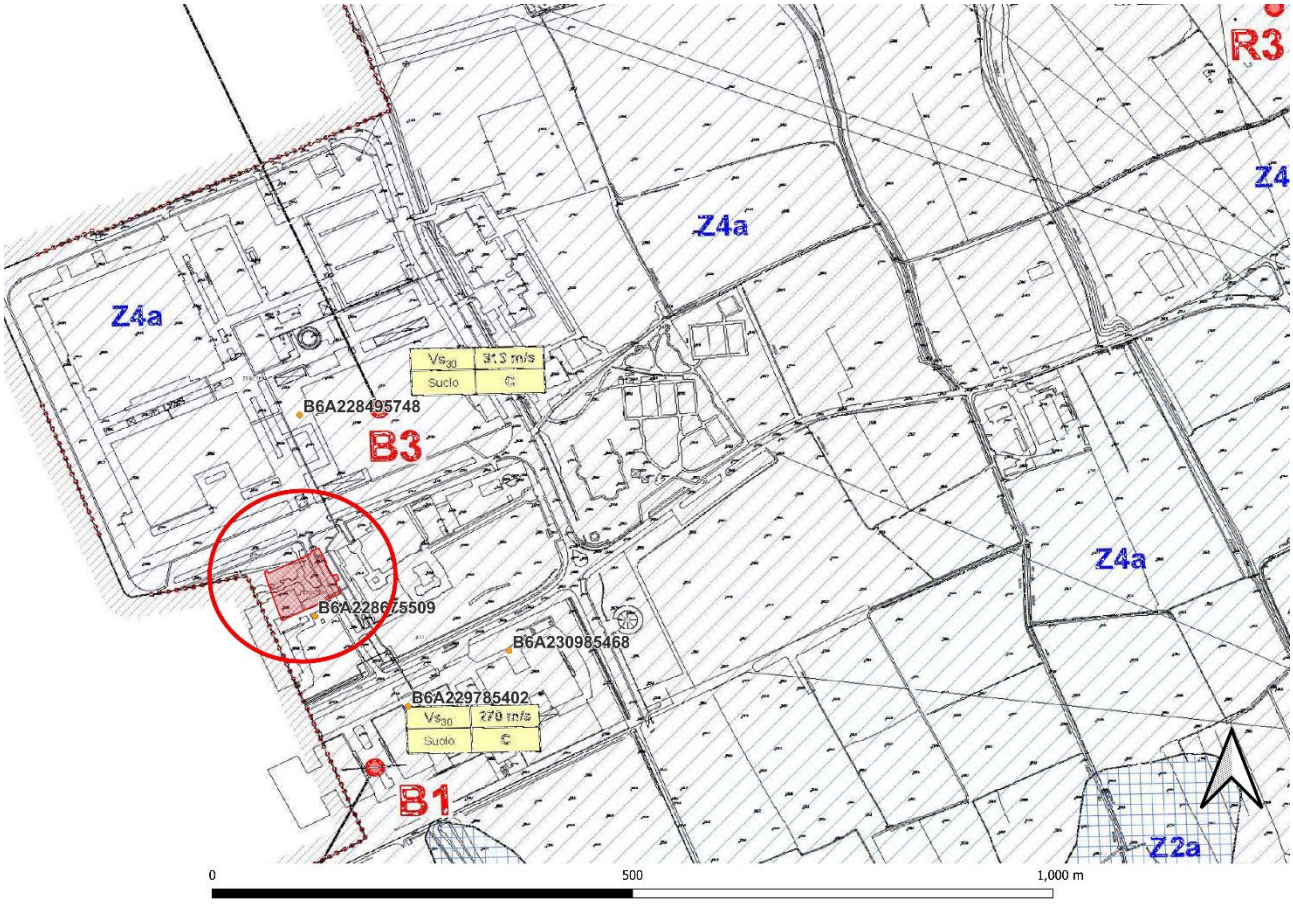
[1]Comune di Settimo Milanese - COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO - Relazione Tecnica generale - Dott. Geol. Roverselli Davide - Giugno 2023.
[2] Tavola 7 dello studio di cui in (1): CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO scala 1:5.000 – 27/04/2023.

2.2 Classificazione sismica

Il territorio comunale di Settimo Milanese ricade nel gruppo di aree individuate dalla Regione Lombardia[3] in Zona 4 di Pericolosità Sismica di Base (PSB) - con pericolosità sismica estremamente bassa e con valori di a_g < 0,05 g:

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03015211	MI	SETTIMO MILANESE	4	0,044794

Non sono presenti in area elementi morfologici in grado di amplificare eventuali fenomeni sismici con un aumento sostanziale del rischio sismico[4] e l'unica amplificazione attesa è di tipo litologico/stratigrafico (PSL Z4a); è altresì vero che i termini litologici desunti da dati bibliografici e registrati nella cartografia comunale ufficiale[5] indicano la presenza più che probabile di sabbie sature, le quali potrebbero, potenzialmente, fluidificare in ragione di eventi sismici particolarmente significativi. Per tale motivo nella presente relazione si espongono i risultati di un'analisi sismica condotta con i criteri dettati dalle NTC 2018 ed orientata alla definizione di un eventuale rischio di fluidificazione secondo i diversi scenari di stato limite previsti dalla normativa tecnica vigente.



Nell'immediato intorno del sito la cartografia PGT mostra la presenza di punti (**B1** e **B3**) soggetti a precedenti analisi sismica per i quali sono stati ricavati, in sede pianificatoria, i valori di V_S equivalente con attribuzione del terreno in sito alla categoria semplificata C delle vigenti

[3] Delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. X/2129 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)
[4] Tav. 4 dello studio di cui in (1): CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (1° LIVELLO) - 26/04/2023.
[5] Tav. 1 dello studio di cui in (1): CARTA GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E GEOTECNICA – 26/04/2023.

Nel luglio 2024 sono stati eseguiti n. 1 stendimento Masw[6] e n. 1 stendimento Re.Mi[7] che confermano la classificazione del terreno emersa in fase pianificatoria (C).

[6] Prot. 7600/B – Studio Tecnico Geom. Ugo Celotti - Relazione Masw
[7] Prot. 7600/D – Studio Tecnico Geom. Ugo Celotti - Relazione Re.Mi.

3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Ubicazione geografica

Il territorio comunale di SETTIMO MILANESE, che si estende su una superficie di circa 10 km^2, si sviluppa nell'ambito delle quote 144.0 m s.l.m. e 125.0 m s.l.m. e confina con i seguenti comuni: NORD RHO, OVEST CORNAREDO, SUD-OVEST CUSAGO, SUD e EST MILANO.

In particolare, l'area in esame è collocata nella porzione sud orientale del Comune, a ridosso del limite comunale di Cornaredo, ed è cartografata nella sezione B6A2 della CTR 1:10.000.

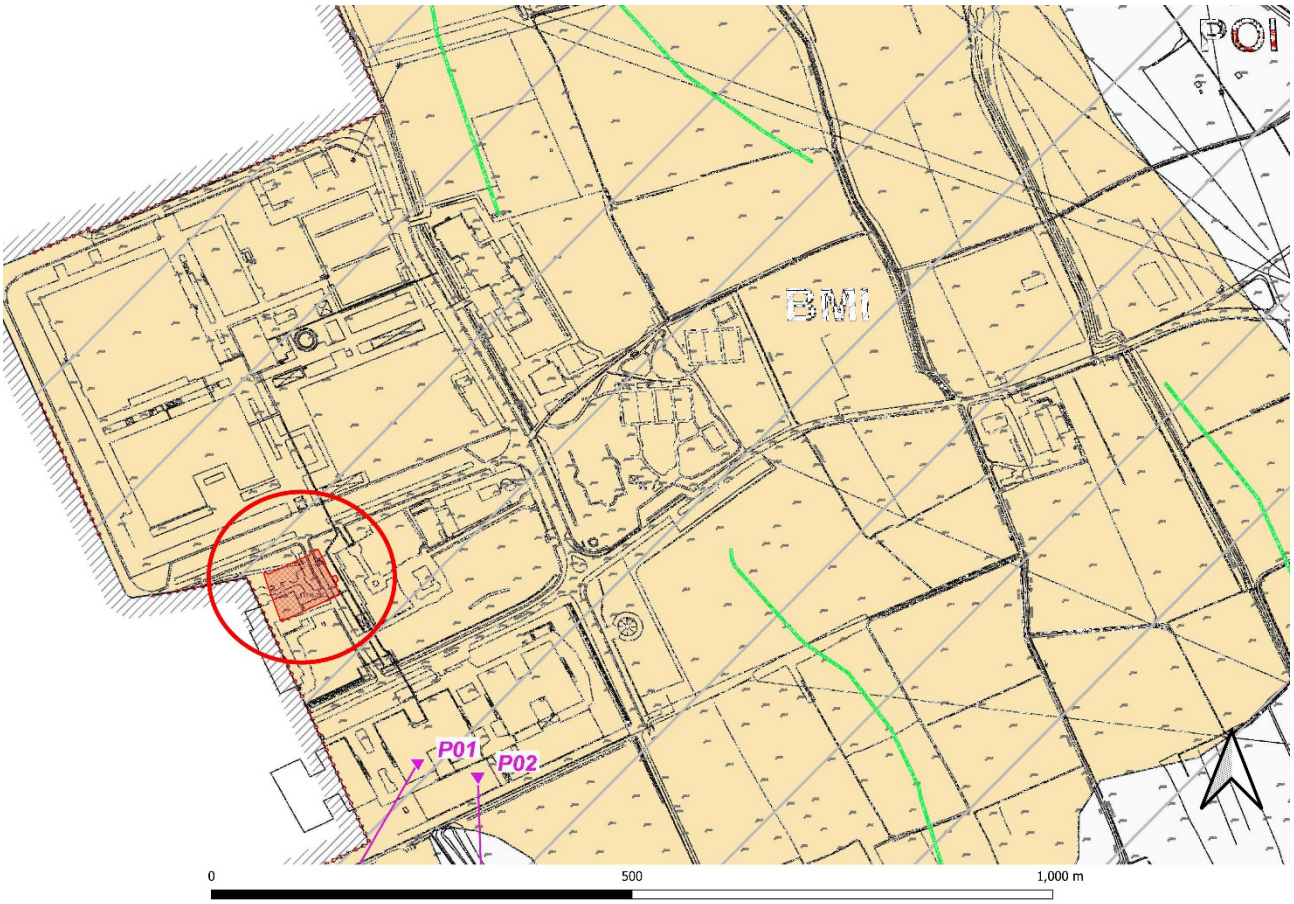
3.2 Inquadramento geomorfologico

Come già esposto nel precedente paragrafo, il territorio Comunale di Settimo Milanese è sostanzialmente pianeggiante; l'area è ubicata in un contesto con quota media di **133** m s.l.m. la cui continuità non è interrotta da alcun elemento morfologico di rilievo.

3.3 Inquadramento geologico ed idrogeologico

Dal punto di vista geologico e geolitologico l'area è caratterizzata dalla presenza di depositi fluviali ascrivibili all'ultimo ciclo deposizionale postglaciale; in cartografia Geologica ISPRA (Progetto CAGR - Foglio 118 Milano) viene cartografata nell'ambito dell'Unità di Minoprio (**BMI**)

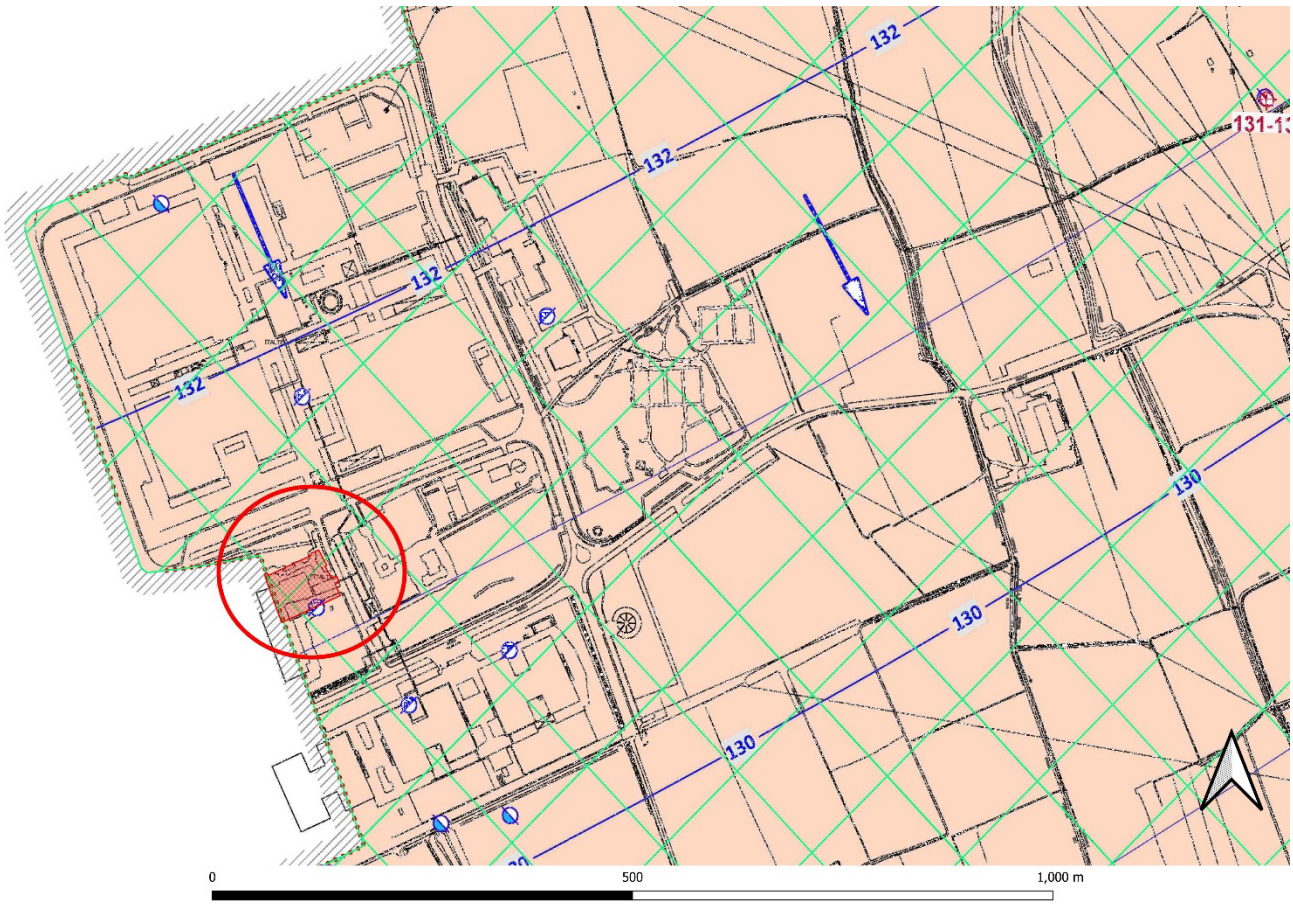
composta da ghiaie a supporto clastico e di matrice, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa; limi ghiaiosi; sabbie, sabbie limose e limi (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con spessore medio di 1,5 m, presenza di suoli sepolti nel settore meridionale. Dal punto di vista litologico l'unità è costituita da depositi fluvioglaciali ed in particolare da ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa. Clasti arrotondati/subarrotondati, in prevalenza centimetrici (dimensioni più frequenti tra 1-5 cm e dimensione massima osservata 20 cm circa). Le ghiaie, da massive a grossolanamente stratificate, costituiscono l'ossatura dei settori occidentale e orientale del territorio giungendo fino al suo limite meridionale. Nei due settori sono presenti successioni sommitali caratteristiche. In tutto il settore settentrionale sono discontinuamente presenti sedimenti fini rubefatti a clasti sparsi, che costituiscono il riempimento di canali incisi nelle ghiaie, fluitato dai suoli delle superfici circostanti. Sono presenti, inoltre, sequenze sommitali di sedimenti fini attribuite al sintema di Cantù (subsintema di Ronchetto delle Rane). La superficie modale, pur essendo percorsa da una fitta rete di drenaggio, oggi quasi completamente artificializzata, appare estremamente livellata. Le depressioni in cui scorrono fontanili e cavi, il cui frequente andamento sinuoso e non regolare rivela un'origine naturale, sono generalmente poco o non percettibili all'osservazione diretta. Presenze di orizzonti argillosi e argilloso-limosi.


BMI
P01
P02
0
500
1,000 m

L'acqua di prima falda. In base alla cartografia PGT del 2023[8] la quota di falda si dovrebbe collocare a circa 131 m s.l.m. con una soggiacenza di circa **2** m da p.c.; la limitata soggiacenza del corpo idrico è motivo della sua elevata vulnerabilità intrinseca. In fase di progettazione strutturale dovrà tenersi in conto la probabile interferenza tra falda, forse confinata o semiconfinata, e fondazioni: per tale motivo si suggerisce, comunque, l'installazione di un piezometro a tubo aperto in almeno una delle verticali previste nell'ambito del piano d'indagine geognostica diretta.

La direzione principale del flusso idrico sotterraneo è NNW-SSE, il gradiente è di circa 0.3%.

Non sono presenti nell'area teste di fontanile o altri punti di risorgiva con particolare valenza ambientale o naturalistica.



[8] Tav. 2 dello studio di cui in (1)– Carta Idrogeologica 1:5.000– 14/06/2023

4.0 ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

L'analisi della pericolosità geologica, qui presentata in forma qualitativa, consente un sommario inquadramento di eventuali scenari di rischio idrogeologico.

4.1 Pericolosità geomorfologica e idrogeologica

Non sono presenti pendii di rilevo pertanto sono esclusi fenomeni geomorfologici e/o gravitativi. L'area non rientra in alcuna classe di rischio idrogeologico e non ricade in alcuna fascia PAI di vincolo.

La limitata soggiacenza della falda può costituire elemento di rischio idrogeologico per quanto relativo alla vulnerabilità della stessa e all'eventuale interferenza con fondazioni superficiali.

4.2 Scenari di rischio sismico: pericolosità sismica locale

In base ai dati desunti dal corrente PGT e agli stendimenti sismici eseguiti durante le indagini dirette si possono classificare i terreni d'imposta dei manufatti in categoria C[9]:

"C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del Vs_{30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

[9] NTC 2018

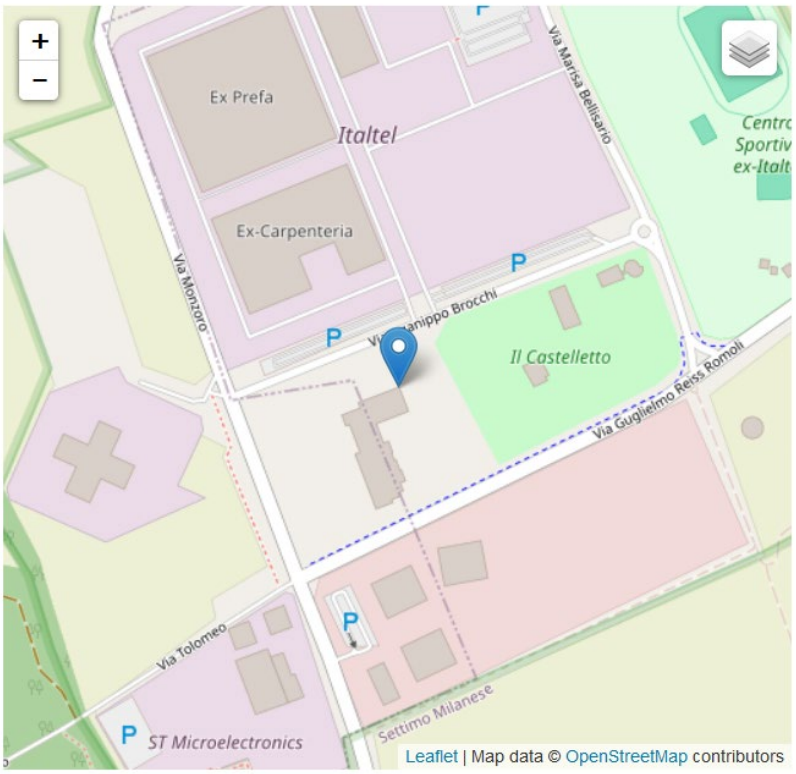
4.2.1 Scenari di rischio sismico: verifica liquefazione

Nell'ambito delle verifiche relative al rischio sismico di liquefazione si sono considerati i quattro scenari di stati limite: SLO, SLD, SLV e SLC.

4.2.2 Dati in ingresso

Il punto di riferimento collegato all'area è il punto baricentrico della stessa con le seguenti coordinate

SISTEMA	LAT [°]	LONG [°]
WGS84	45.473262	9.036140
ED50	45.474198	9.037203



4.2.3 Elaborazione e risultati

Si prevede per la costruzione in progetto, Classe d'Uso **III**[10] corrispondente ad un coefficiente d'uso (Cu) 1,5 per una durata nominale Vn di **50** anni e, pertanto, una Vr [Vn*Cu] di 75 anni.

[10] NTC 2018 2.4.2

In queste condizioni si ricavano i seguenti periodi di ritorno T_r da prendere in considerazione per le elaborazioni successive:

STATO LIMITE	Pvr %	Tr [anni]
SLO	81	45.16
SLD	63	75.43
SLV	10	711.84
SLC	5	1462.18

In base alle coordinate inserite e T_r calcolati si ottengono, per gli stati limite definiti, i seguenti valori :

STATO LIMITE	F_o	T*c [s]	$a_{g,max}$ [g]
SLO	2.52769296	0.18338340	0.0307
SLD	2.58615474	0.19912252	0.0380
SLV	2.70481841	0.29213076	0.0721
SLC	2.77853167	0.30950344	0.0855

L'art. 7.11.3.4.2 delle NCT 2018 stabilisce normativamente che l'analisi di liquefazione può essere omessa, in quanto ridondante, quando il terreno saturo suscettibile a tale fenomeno risulti interessato da a_{gmax} < 0,1 g, pertanto, per nessuno degli scenari di rischio analizzati risulta necessario un approfondimento sull'eventuale liquefazione dei terreni sottofalda. Per i relativi spettri di risposta sismica, essendo questi una funzione della duttilità e del comportamento dell'edificio determinati dall'assetto strutturale dello stesso, si rinvia alla Relazione di Progettazione Geotecnica.

5.0 MODELLO CONCETTUALE, INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO - TECNICO

5.1 Modello concettuale

La natura del sottosuolo nell'intorno dell'edificio in progetto è desumibile dall'unità formazionale che ospita il sedime dello stesso, Unità di Minoprio, BMI. La stratigrafia del sondaggio S1 mostra alternanze di orizzonti ghiaiosi, sabbiosi e limosi tipici di una deposizione fluviale ad energia variabile con frequenti episodi di diversione dei meandri.

5.2 Indagini geognostiche dirette

La continuità laterale dei depositi fluviali di cui al precedente paragrafo e i relativi parametri geomeccanici sono stati verificati nel corso di un'indagine geognostica diretta, condotta nell'area di competenza nel luglio 2024.

L'indagine è stata strutturata nel seguente modo:

- n. 5 verticali penetrometriche DPSH (P1÷P5) condotte con penetrometro superpesante DPSH/B spinte fino a -15,0 m circa dal piano campagna;
- n. 1 sondaggio geognostico realizzato a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT in foro ogni 1,5 m di avanzamento; il sondaggio è profondo 30 m da piano campagna con campionamento terreno ogni 1,5 m di avanzamento (n. 16 campioni) e attrezzato a piezometro.

- n. 1 stendimento MASW;
- n. 1 stendimento Re.Mi.

5.3 Modello geologico – tecnico

In base ai dati geotecnici rilevati dai sondaggi e dalle prove penetrometriche DPSH è possibile individuare n. 5 orizzonti sostanzialmente pianopararalleli e suborizzontali i cui parametri geomeccanici caratteristici sono a seguito tabulati:

MODELLO GEOTECNICO										
Strato	Q_L [m]	γ [kN/m^3]	$(N_1)_{60}$ [colpi/piede]	φ' [gradi]	φ'_{cv} [gradi]	φ_{calc} [gradi]	D_r [%]	m [/]	E [MPa]	ν [/]
1	-9,0	19,0	7,7	25,3	21,8	23,9	35,9	377,5	22,1	0,35
2	-12,0	19,0	10,7	27,4	23,7	25,9	43,1	433,3	35,9	0,35
3	-16,0	19,0	8,4	25,9	23,5	24,9	36,2	485,0	45,9	0,35
4	-22,0	19,0	13,2	29,1	25,6	27,7	46,9	604,2	63,1	0,35
5	-30,0	19,0	26,8	35,0	29,3	32,8	66,8	945,3	104,6	0,35

Q_t = quota tetto strato;
γ = peso di volume naturale;
$(N_1)_{60}$ = resistenza penetrometrica SPT normalizzata,
φ' = angolo d'attrito di picco;
φ'_{cv} = angolo d'attrito residuo (volume costante;
φ_{calc} = angolo d'attrito di calcolo;
D_r =densità relativa;
m = gradiente modulo E (Young);
E = modulo di Young.
ν = rapporto di Poisson.

6.0 CONCLUSIONI

A seguito delle rilevazioni cartografiche e dei dati tecnici bibliografici risulta che:

1) non sono presenti particolari rischi idrogeologici generali o locali.
2) I materiali di sottostrato non presentano caratteristiche sismicamente rilevanti e la morfologia dell'area non è tale da innescare fenomeni di amplificazione sismica. La verifica sismica per la liquefazione non è necessaria per terreni di tipo C in quanto per questa tipologia classificativa a_{gmax} < 0,1 g per i periodi di ritorno previsti per l'opera.
3) Sono presenti depositi fluviali da granulari a coesivi con capacità portanti da ottime a scarse la cui caratterizzazione geometrica e geotecnica risulterà necessaria per la corretta progettazione strutturale esecutiva.
4) La falda si assesta alla profondità di circa -2 m da piano campagna, con escursioni stagionali di circa 1 m, e presenta vulnerabilità elevata.
5) Per quanto sinora visto, l'opera risulta compatibile con il quadro geologico, idrogeologico e sismico evincibile dal PGT e non costituisce motivo di aumento del rischio idrogeologico intrinseco, fatte salve le precauzioni costruttive e gestionali legate alla presenza di una falda subaffiorante con elevata vulnerabilità intrinseca.

Dott. Geol. Luigi Maurizio Paternò

STUDIO TECNICO
Geom. UGO CELOTTI S.R.L.

VIA MINCIO 22 - CAP 20139 MILANO - TEL. 025393977 r.a. - 025392262 FAX
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it

INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE
RICERCHE IDROLOGICHE AMBIENTALI - STRUMENTAZIONI GEOTECNICHE
PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI
RILIEVI TOPOGRAFICI - PROSPEZIONI GEOFISICHE E GEOELETTRICHE

DATA4 PMO by Hill International
Via Monzoro n. 101 – CORNAREDO (Milano)

Indagini geognostiche, geotecniche ed ambientali eseguite nel terreno di fondazione di un edificio pluripiano a servizio del "Data Center DC15" di prossima realizzazione in comune di Settimo Milanese (Milano) – Via Reiss Romoli.

SONDAGGIO GEOGNOSTICO E GEOTECNICO CON INSTALLAZIONE DI PIEZOMETRO N. S1
SONDAGGI GEOGNOSTICI AMBIENTALI NN. SA1÷SA8
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE NN. P1÷P8

Disegno n. 7600/1A Data: 22 – 07 – 2024

N.B.– Lo zero di riferimento delle profondità coincide con il piano d'inizio delle perforazioni.
La quota slm indicata sulle stratigrafie e sui diagrammi è stata rilevata con strumentazione GPS.

SONDAGGIO GEOGNOSTICO AMBIENTALE

SONDAGGIO GEOGNOSTICO GEOTECNICO

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

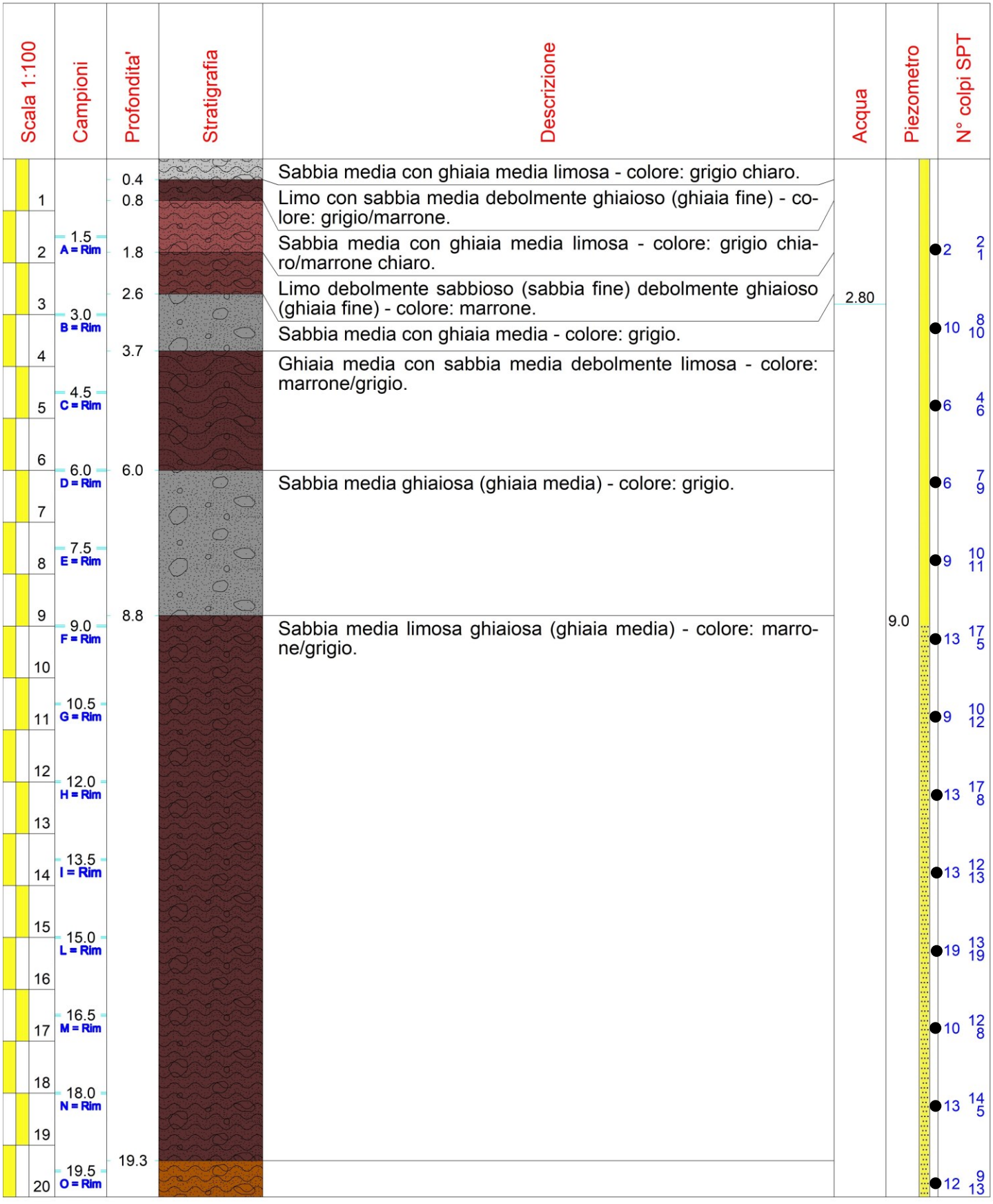
PLANIMETRIA

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° S1 DATA: 16-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +133.084 slm Fine sondaggio m. 30.0



N.B.: ● SPT con punta conica 60°.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° S1 DATA: 16-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +133.084 slm Fine sondaggio m. 30.0

Scala 1:100	Campioni	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Acqua	Piezometro	N° colpi SPT
21	21.0 P = Rim			Sabbia media con limo ghiaiosa (ghiaia media) - colore: marrone chiaro. Presenza di ciottoli sparsi.			4 7 17
22							
23	22.5 Q = Rim						17 15 22
24	24.0 R = Rim						23 13 20
25							
26	25.5 S = Rim						20 13 21
27	27.0 T = Rim						23 14 24
28		27.6		Sabbia fine con ghiaia fine limosa - colore: marrone chiaro.			
29	28.5 U = Rim						25 16 25
30						30.0	
31	30.0 V = Rim	30.0					27 13 29
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							

N.B.: ● SPT con punta conica 60°.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° SA1 DATA: 15-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +132.810 slm Fine sondaggio m. 3.00

Scala 1:100	Campioni	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Acqua
1		0.4		Sabbia media con ghiaia media - colore: grigio. Presenza di sparsi frammenti di calcestruzzo.	
2				Sabbia media con limo ghiaiosa (ghiaia media) - colore: marrone. Presenza di rari frammenti di laterizi.	
3		2.4		Ghiaia media con sabbia media limosa - colore: grigio.	
		3.0			
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

N.B.: Perforazione eseguita "a secco" ovvero senza circolazione di fluido.
Assenza di acqua fino a fondo foro.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° SA2 DATA: 15-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +132.779 slm Fine sondaggio m. 3.00

Scala 1:100	Campioni	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Acqua
				Sabbia media con ghiaia media - colore: grigio chiaro. Presenza di sparsi ciottoli.	
		1.3		Limo con sabbia media ghiaiosa (ghiaia fine) - colore: marrone chiaro.	
		2.1		Sabbia media con ghiaia media - colore: grigio chiaro. Presenza di ciottoli.	
		3.0			

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

N.B.: Perforazione eseguita "a secco" ovvero senza circolazione di fluido.
Assenza di acqua fino a fondo foro.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° SA3 DATA: 15-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +132.935 slm Fine sondaggio m. 3.00

N.B.: Perforazione eseguita "a secco" ovvero senza circolazione di fluido.
Assenza di acqua fino a fondo foro.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° SA4 DATA: 15-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +132.854 slm Fine sondaggio m. 3.00

Scala 1:100	Campioni	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Acqua
1		0.5		Sabbia media con ghiaia media - colore: grigio.	
2				Limo con sabbia media ghiaiosa (ghiaia media) - colore: marrone. Presenza di rari frammenti di laterizi.	
3		2.4		Limo sabbioso (sabbia media) - colore: grigio.	
		3.0			
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

N.B.: Perforazione eseguita "a secco" ovvero senza circolazione di fluido.
Assenza di acqua fino a fondo foro.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° SA5 DATA: 15-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +132.880 slm Fine sondaggio m. 3.00

Scala 1:100	Campioni	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Acqua
1		0.3		Ghiaia media con sabbia media - colore: grigio.	
2				Limo sabbioso (sabbia media) - colore: marrone chiaro/grigio scuro. Presenza di laterizi.	
3		2.1		Sabbia media con ghiaia media debolmente limosa - colore: grigio chiaro.	
		3.0			
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

N.B.: Perforazione eseguita "a secco" ovvero senza circolazione di fluido.
Assenza di acqua fino a fondo foro.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° SA6 DATA: 15-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +132.844 slm Fine sondaggio m. 3.00

Scala 1:100	Campioni	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Acqua
1				Sabbia media con ghiaia media - colore: grigio. Forte presenza di frammenti e blocchi di calcestruzzo.	
2		1.8			
		2.2		Limo con sabbia media - colore: marrone. Presenza di frammenti di laterizi.	
3		3.0		Sabbia media con ghiaia media debolmente limosa - colore: grigio chiaro.	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

N.B.: Perforazione eseguita "a secco" ovvero senza circolazione di fluido.
Assenza di acqua fino a fondo foro.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° SA7 DATA: 15-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +132.782 slm Fine sondaggio m. 3.00

Scala 1:100	Campioni	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Acqua
1				Sabbia media con ghiaia media ciottolosa - colore: grigio chiaro. Presenza di frammenti di laterizi.	
2		1.6		Sabbia media con ghiaia media limosa - colore: grigio.	
3		3.0			
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

N.B.: Perforazione eseguita "a secco" ovvero senza circolazione di fluido.
Assenza di acqua fino a fondo foro.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° SA8 DATA: 15-7-2024

Dis. n°: 7600 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.00 Inizio sondaggio m +132.768 slm Fine sondaggio m. 3.00

Scala 1:100	Campioni	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Acqua
1		0.9		Sabbia media con ghiaia media - colore: marrone chiaro. Presenza di frammenti di laterizi.	
2				Limo debolmente sabbioso (sabbia fine) - colore: marrone/grigio scuro.	
3		2.3		Ghiaia media con sabbia media - colore: grigio.	
4		3.0			
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

N.B.: Perforazione eseguita "a secco" ovvero senza circolazione di fluido.
Assenza di acqua fino a fondo foro.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° P1

DATA: 11-7-2024

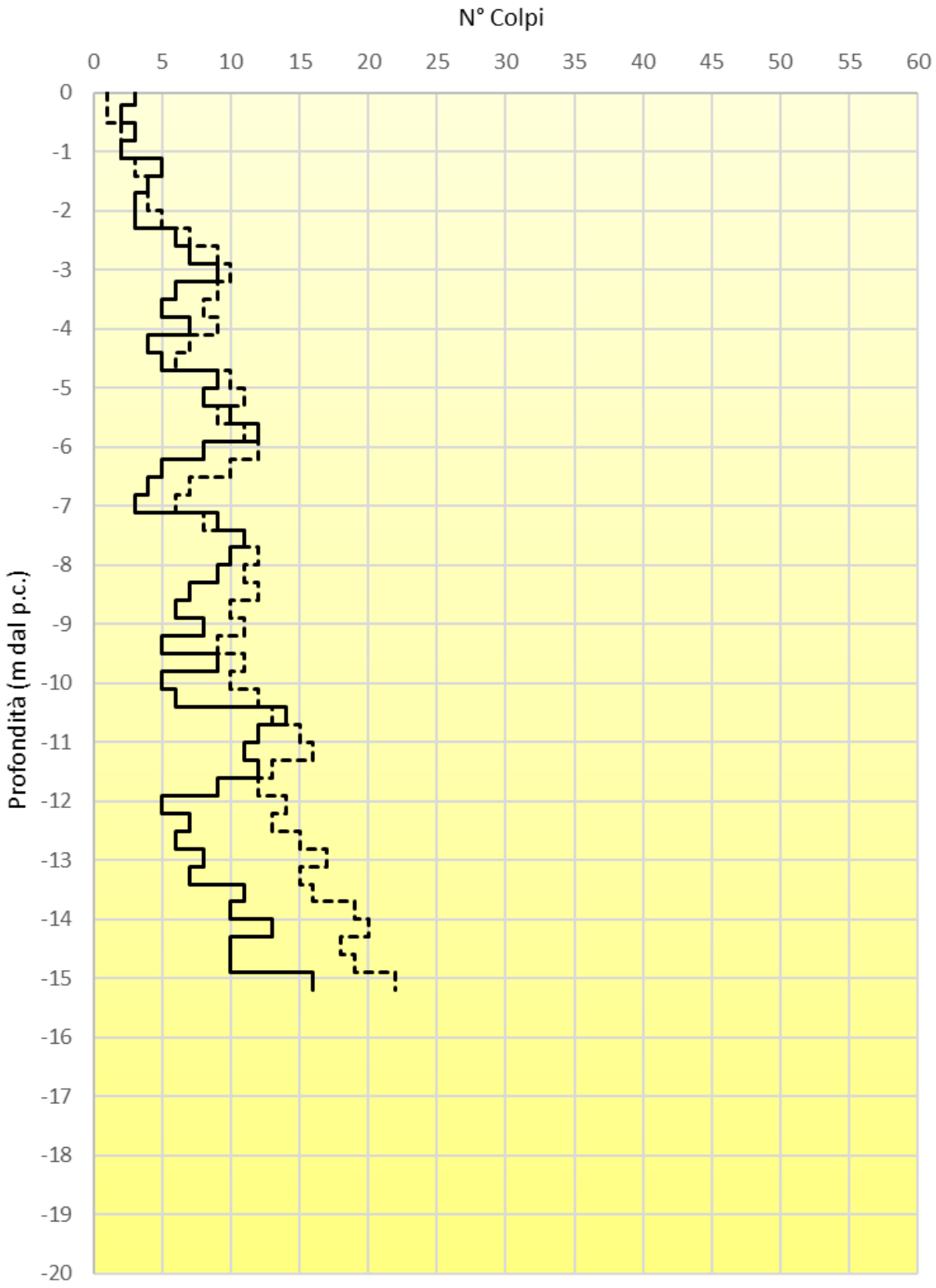
Disegno n° 7600

Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ø = 2″ --- Tubazione di rivestimento ø = 1″½

Inizio prova m 0.00
Fine prova m -15.20

Inizio prova m +132.835 slm
Assenza acqua fino a m -0.60 poi foro ostruito



STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI – Via Mincio n° 22 – 20139 Milano

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° P2

DATA: 10-7-2024

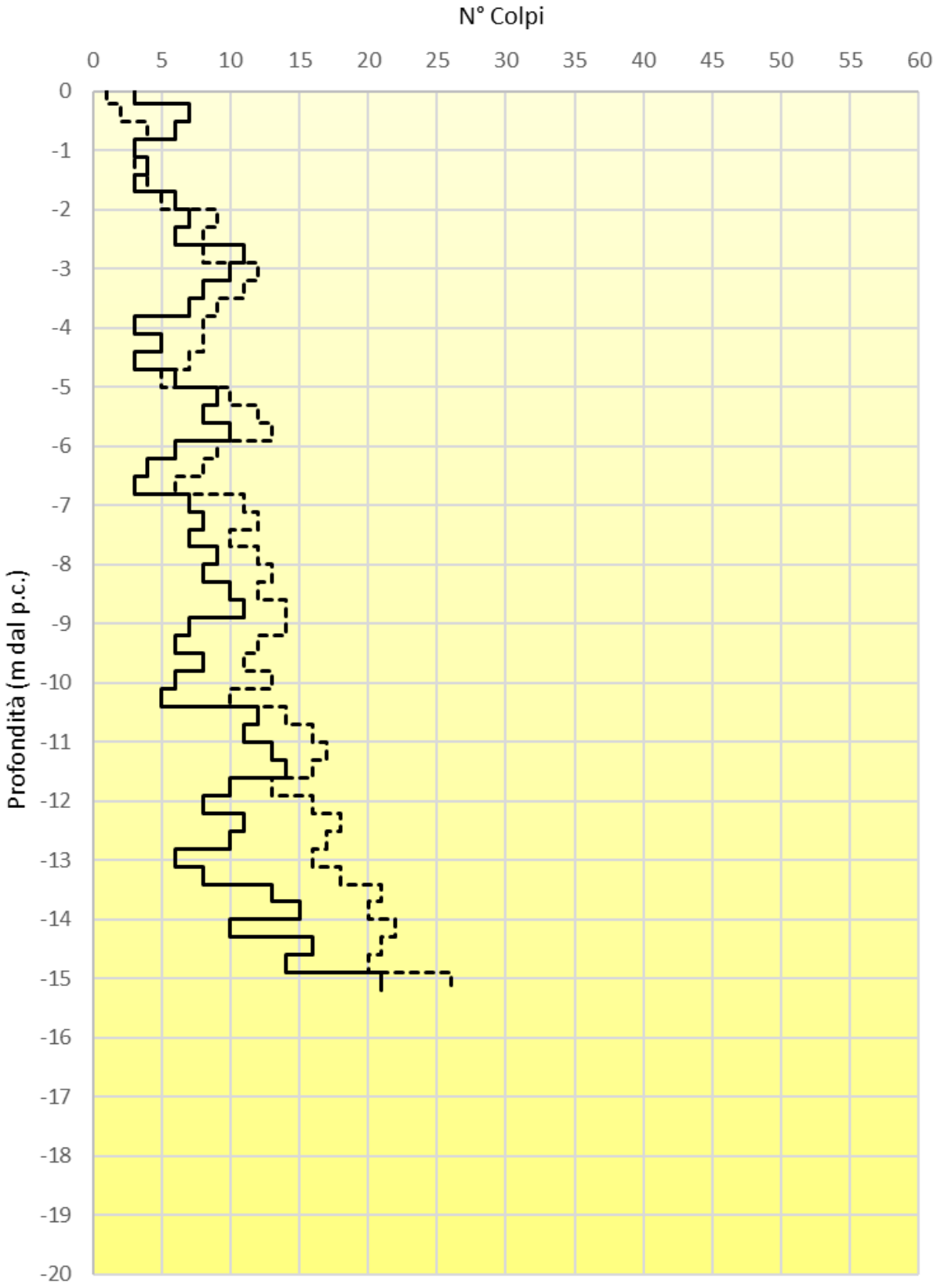
Disegno n° 7600

Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ø = 2″ --- Tubazione di rivestimento ø = 1″½

Inizio prova m 0.00
Fine prova m -15.20

Inizio prova m +132.849 slm
Assenza acqua fino a m -0.90 poi foro ostruito



STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI – Via Mincio n° 22 – 20139 Milano

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° P3

DATA: 8-7-2024

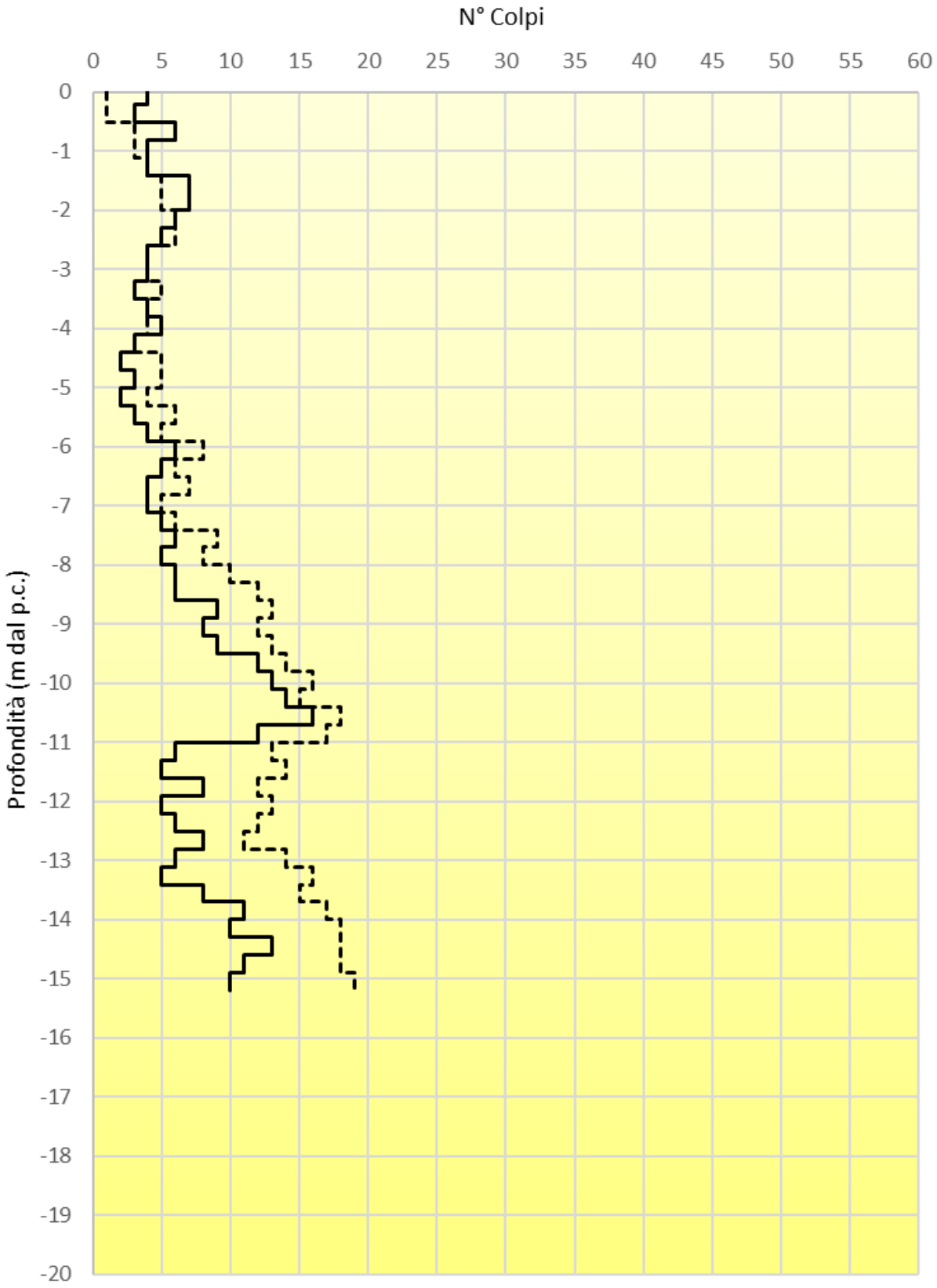
Disegno n° 7600

Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ø = 2″ --- Tubazione di rivestimento ø = 1″½

Inizio prova m 0.00
Fine prova m -15.20

Inizio prova m +132.867 slm
Assenza acqua fino a m -0.90 poi foro ostruito



STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI – Via Mincio n° 22 – 20139 Milano

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° P4

DATA: 11-7-2024

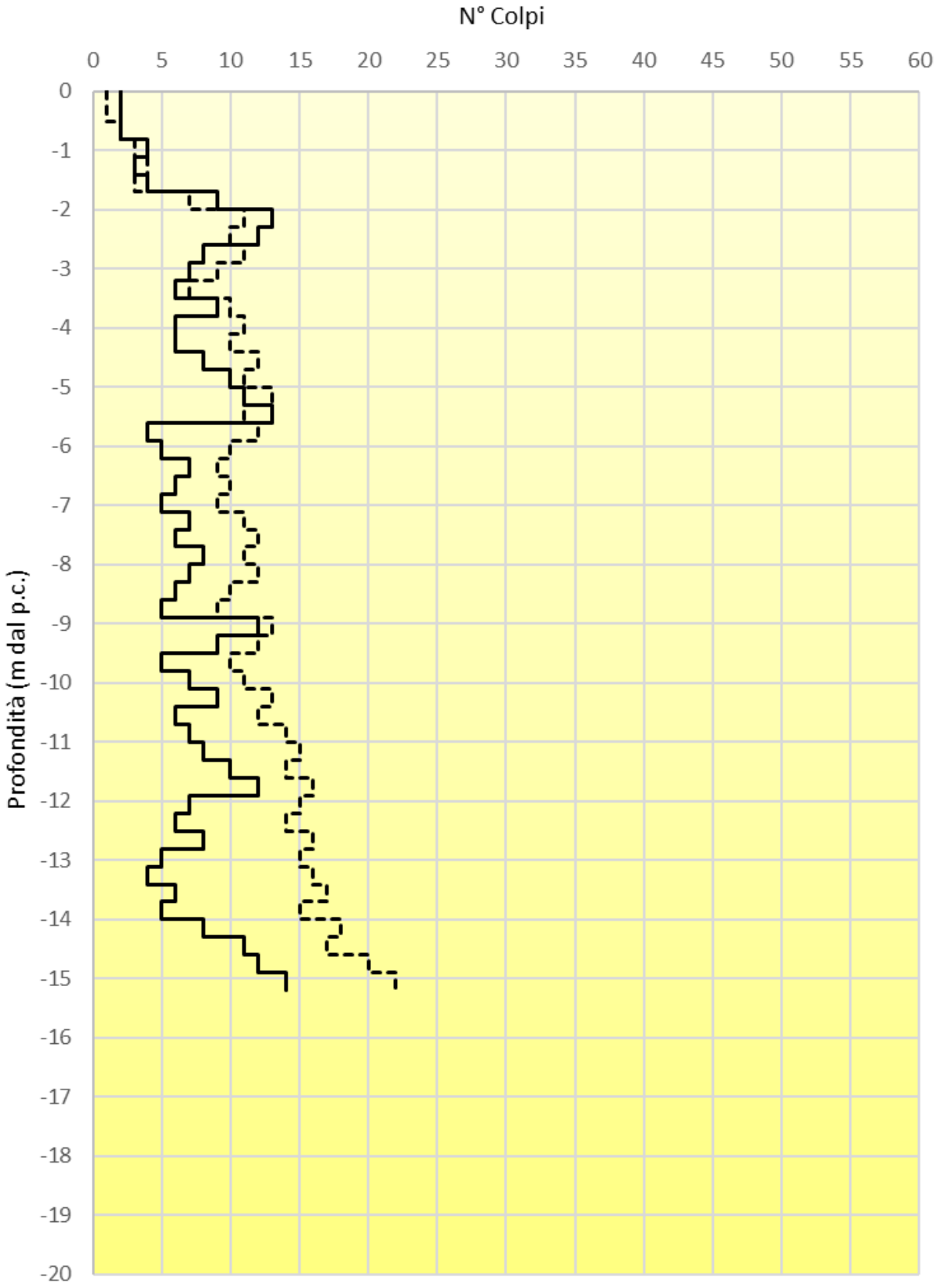
Disegno n° 7600

Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ø = 2″ --- Tubazione di rivestimento ø = 1″½

Inizio prova m 0.00
Fine prova m -15.20

Inizio prova m +132.721 slm
Assenza acqua fino a m -0.50 poi foro ostruito



STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI – Via Mincio n° 22 – 20139 Milano

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° P5

DATA: 8-7-2024

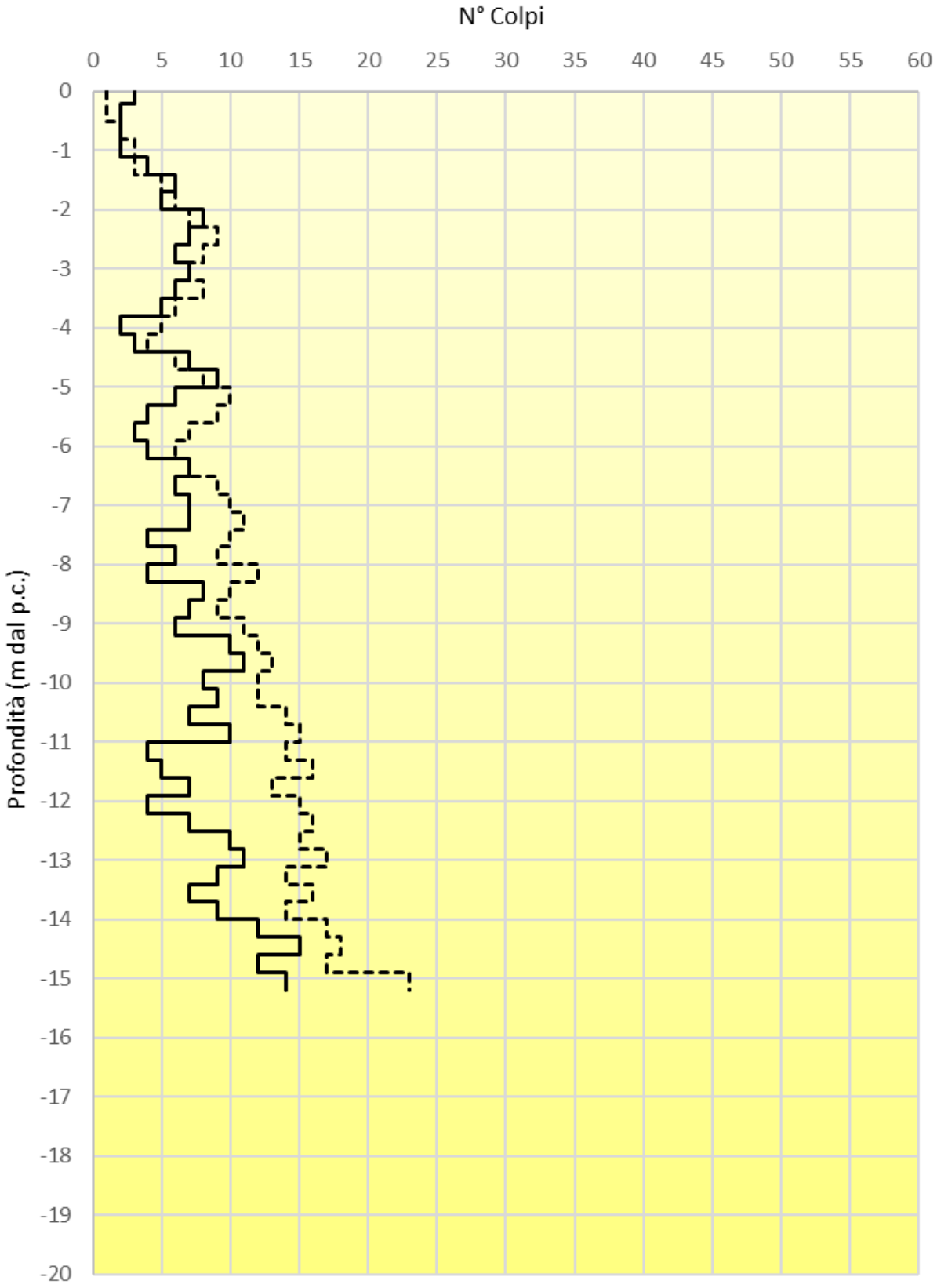
Disegno n° 7600

Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ø = 2″ --- Tubazione di rivestimento ø = 1″½

Inizio prova m 0.00
Fine prova m -15.20

Inizio prova m +132.541 slm
Assenza acqua fino a m -1.00 poi foro ostruito



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° P6

DATA: 5-7-2024

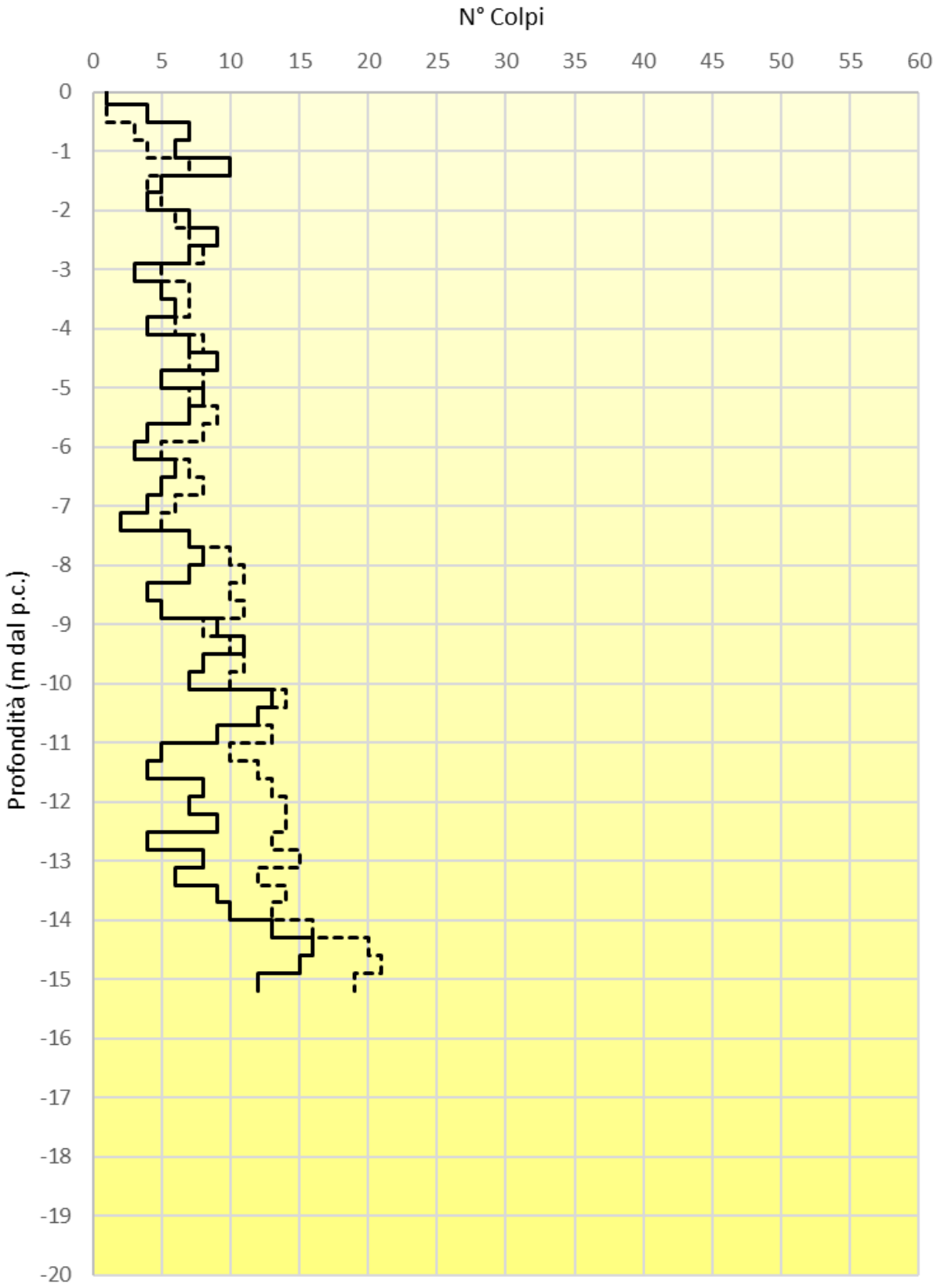
Disegno n° 7600

Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ø = 2″ --- Tubazione di rivestimento ø = 1″½

Inizio prova m 0.00
Fine prova m -15.20

Inizio prova m +132.603 slm
Assenza acqua fino a m -1.10 poi foro ostruito



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° P7

DATA: 10-7-2024

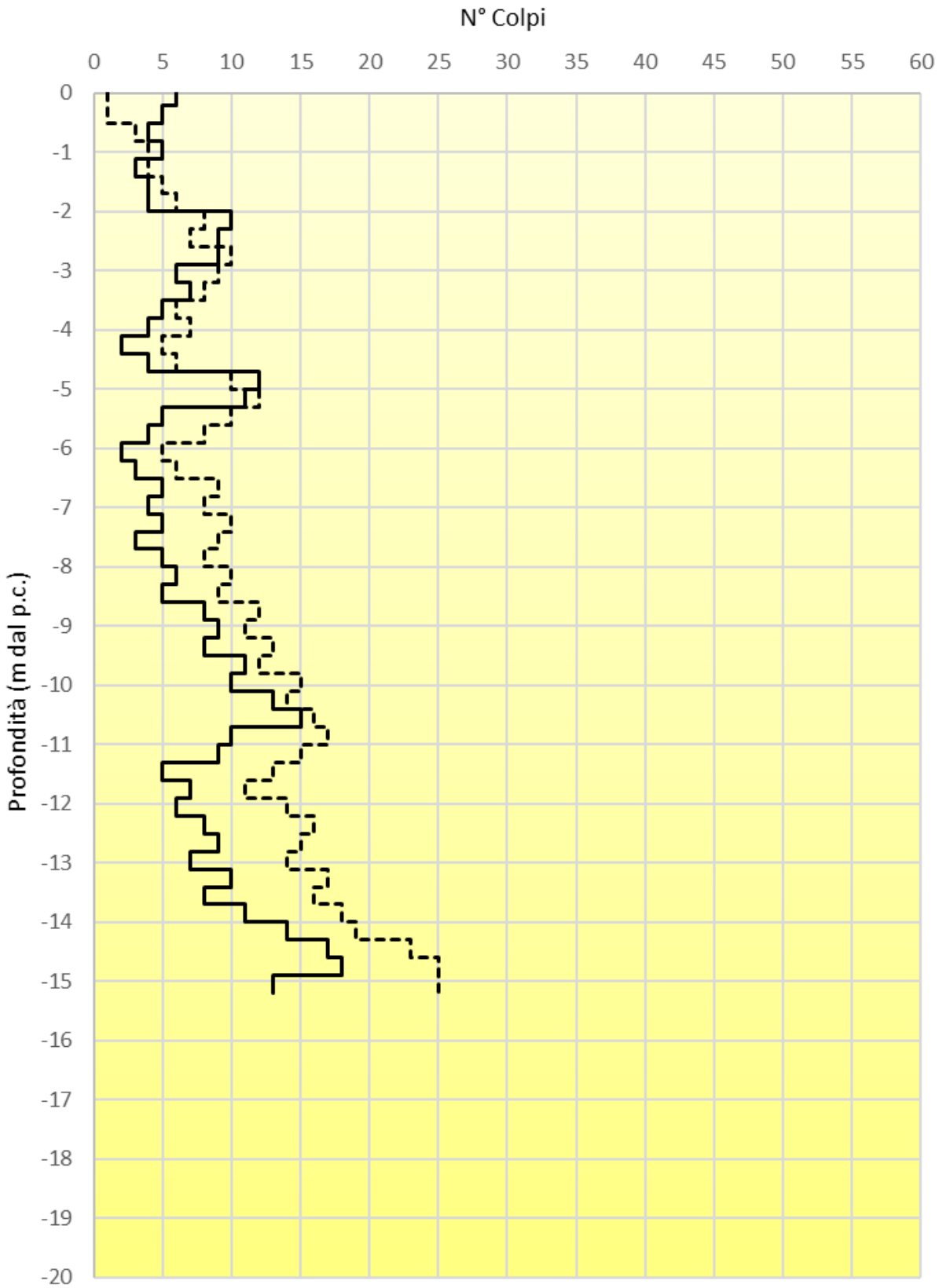
Disegno n° 7600

Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ø = 2″ --- Tubazione di rivestimento ø = 1″½

Inizio prova m 0.00
Fine prova m -15.20

Inizio prova m +132.870 slm
Assenza acqua fino a m -0.80 poi foro ostruito



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° P8

DATA: 5-7-2024

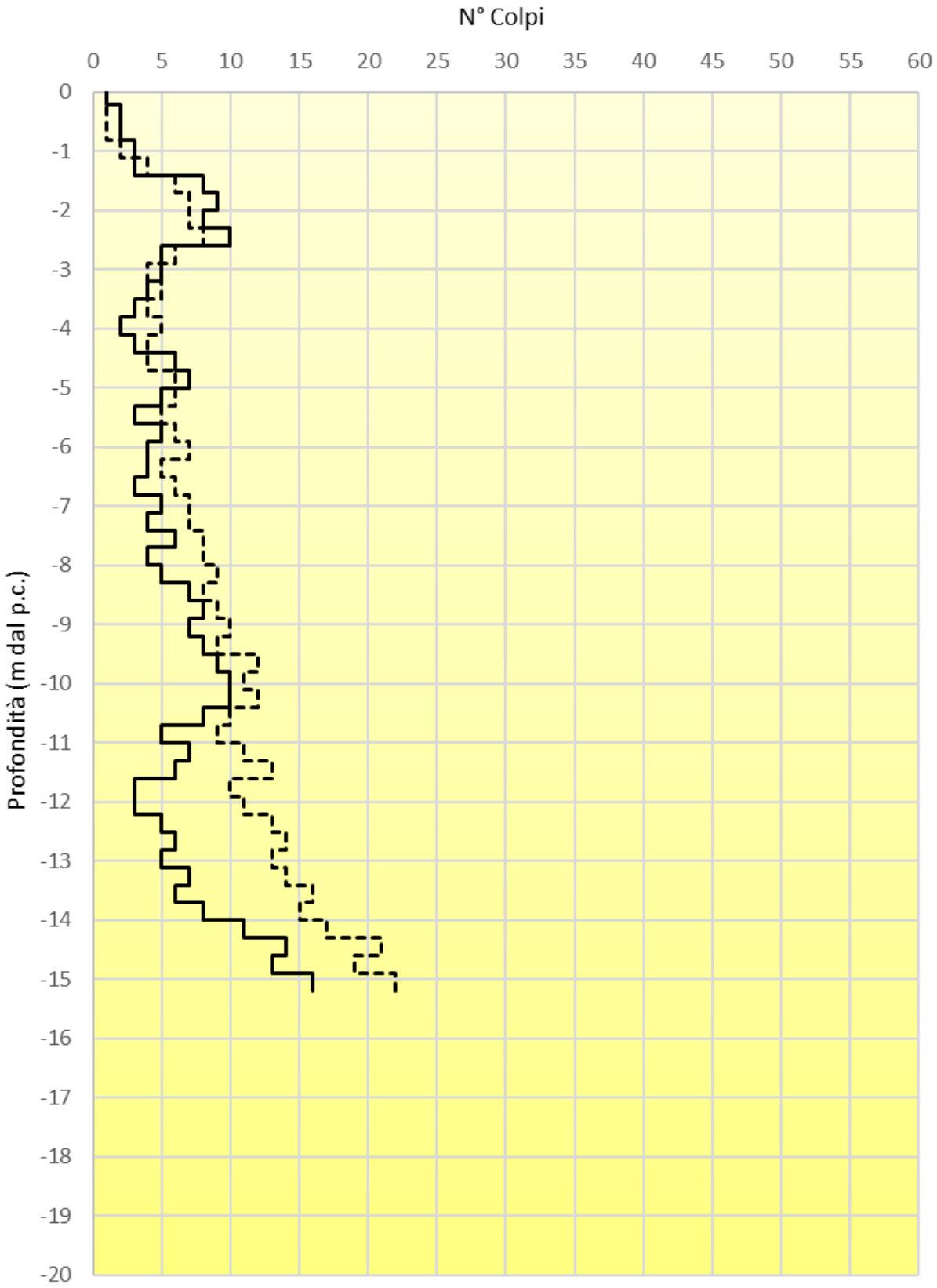
Disegno n° 7600

Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ø = 2″ --- Tubazione di rivestimento ø = 1″½

Inizio prova m 0.00
Fine prova m -15.20

Inizio prova m +132.781 slm
Assenza acqua fino a m -0.70 poi foro ostruito



STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l.
CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.
VIA MINCIO, 22 – C.A.P. 20139 **M I L A N O** TEL. 02.5393977 – FAX 02.5392262
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it

SONDAGGI GEOGNOSTICI GEOTECNICI AMBIENTALI GEOARCHEOLOGICI – PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE INDAGINI E RICERCHE GEOLOGICHE E IDROLOGICHE - PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI - PROSPEZIONI GEOFISICHE GEOELETTRICHE - RILIEVI TOPOGRAFICI
C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO – COD.FISC.-PART.IVA 05092310969 – SOA 3405AL/57/01

Milano, Luglio 2024

Prot. 7600/B

Spett.le
DATA4 PMO by Hill International
Via Monzoro, 101
20007 CORNAREDO (MI)

INDAGINE GEOFISICA FINALIZZATA AGLI STUDI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RISPOSTA LOCALE METODOLOGIA MASW

SETTIMO MILANESE
(Milano)
Via Reiss Romoli
Data Center DC15

Relazione

INDICE

1 – PREMESSA.....3

2 – CENNI TEORICI.....4

3 – ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....5

3.1 – Strumentazione utilizzata.....5

3.2 – Interpretazione dei dati.....6

4 – RISULTATI.....8

5 – CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI.....11

6 – ZONIZZAZIONI SISMICHE PREVISTE DA N.T.C.....12

1 - PREMESSA

Il giorno 15 Luglio 2024, è stata eseguita una prospezione geofisica in un terreno in comune di Settimo Milanese (Milano) – Via Reiss Romoli.

Al fine di caratterizzare la risposta sismica della zona in esame è stata registrata una sezione geosismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999), utile a definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs).
Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 17 gennaio 2018.
Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio Vs,i.
La classificazione dei terreni si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio. Essa è definita dalla relazione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE ⟶

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

In cui Vs,i e hi sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato e lo spessore dell'i-esimo strato.

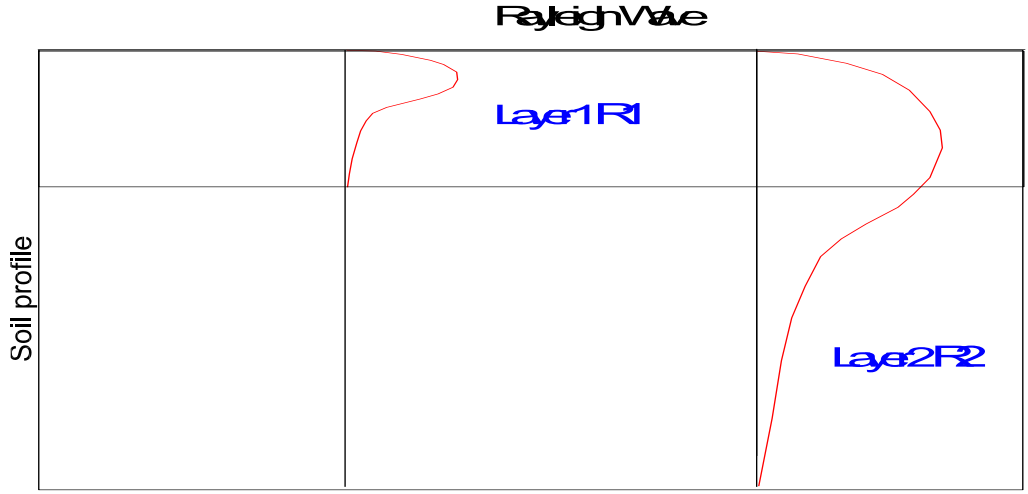
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

2 - CENNI TEORICI

La metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) permette di ricavare le velocità delle onde di taglio verticali Vs dalla determinazione delle velocità delle onde superficiali.

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori posti in genere a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidezza e ai parametri elastici dei suoli attraversati.
E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè le alte frequenze e, quindi, con lunghezze d'onda corta, si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, invece le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia MASW può essere sia *attiva* che *passiva* o la combinazione di entrambe. Nel sistema attivo le onde superficiali vengono generate in un punto noto in modo non casuale e vengono registrate da stendimenti lineari di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento di ricezione può essere sia lineare che circolare e si misura il rumore di fondo ambientale esistente.

Il metodo attivo è quello che meglio permette la classificazione sismica dei suoli perchè fornisce con un miglior dettaglio il profilo delle velocità sismiche nei primi 30 metri da piano campagna. Infatti si ottiene una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra i 5 ed i 70 Hz la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

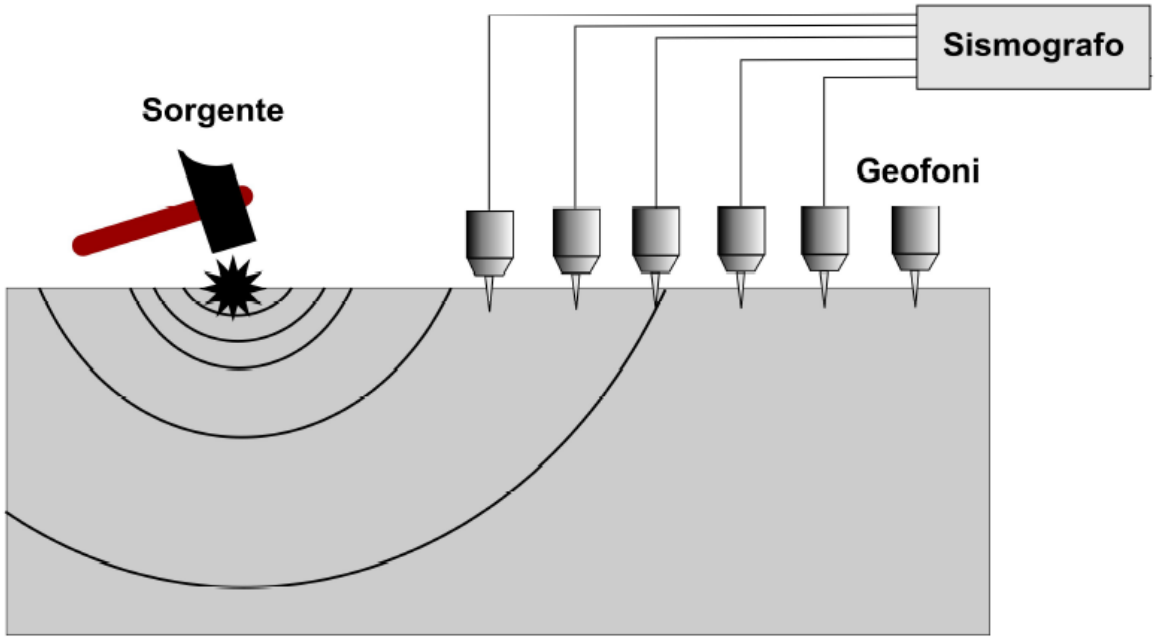
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione è avvenuta tramite l'utilizzo di un sismografo a 24 bit modello" ECHO 24/2010 Seismic Unit" che impiega 24 canali in registrazione.
Lo strumento viene collegato ai geofoni verticali aventi frequenza propria di 4,5 Hz, posizionati sul terreno a distanza di 2 metri. Il tempo di registrazione dello strumento è fissato in 2 secondi. Gli offset di energizzazione della MASW sono pari a 5 metri.
Di seguito si elencano le caratteristiche tecniche della strumentazione impiegata:

Number of channels:	24+1
A/D Conversion:	24 bits
Dynamic range:	130 dB @ 1ms PG=0 dB 120 dB @ 1ms PG=18 dB
Cross talk:	>90 db
Preamplify gain:	0 db, 6 db, 12 db, 24 db, 30 db, 36 db
Frequency response:	0 to 6 KHz (30kSPS) 0 to 4,8 KHz (15kSPS) 0 to 3 KHZ (7,5kSPS) 0 to 1,5 Khz (3,5kSPS) 0 to 800Hz (2kSPS) 0 to 400Hz (1kSPS)
Acquisition and display filter:	Low Cut Out 10.15.25.35.50.70.100.200.280.400 Hz
Sampling interval:	32us,64us,128us,256us,480us,960us
Record length:	16000 samples
Stacking trigger accuracy:	1/32 of samples interval
Distorsion (THD):	0,0004 %
Max input signal:	2Vpp, Odb
Common Mode Rejection:	110 dB
Noise:	0,25 uV, 2ms, 36 Db
Pre-trigger data:	524 ms @ 32 us sample interval
Delay:	0 to 2500 ms step 10 ms
Temperature range:	-30°C/+70°C
Power:	12 Volts
Continuos recording:	HVSR
Output format:	SEG - Y

Di seguito viene riportata una figura che illustra la disposizione dei sensori e la trasmissione dell'impulso.



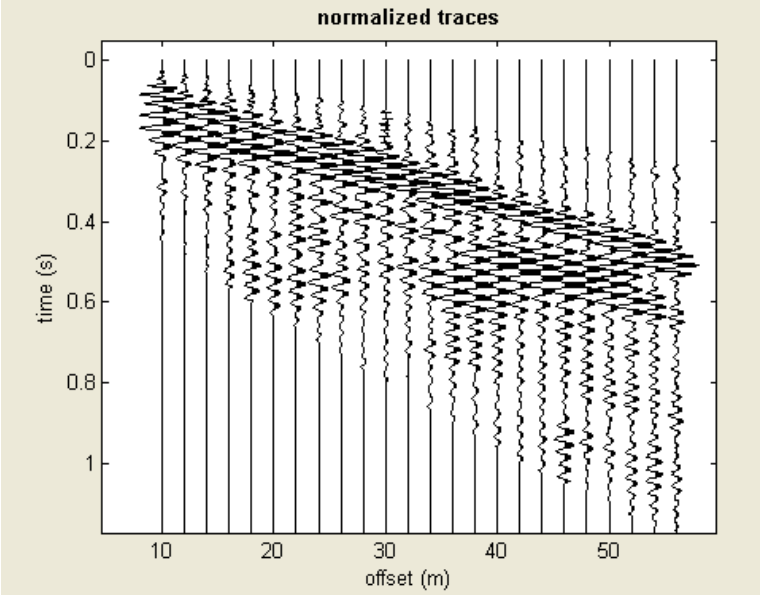
3.2 INTERPRETAZIONE DEI DATI

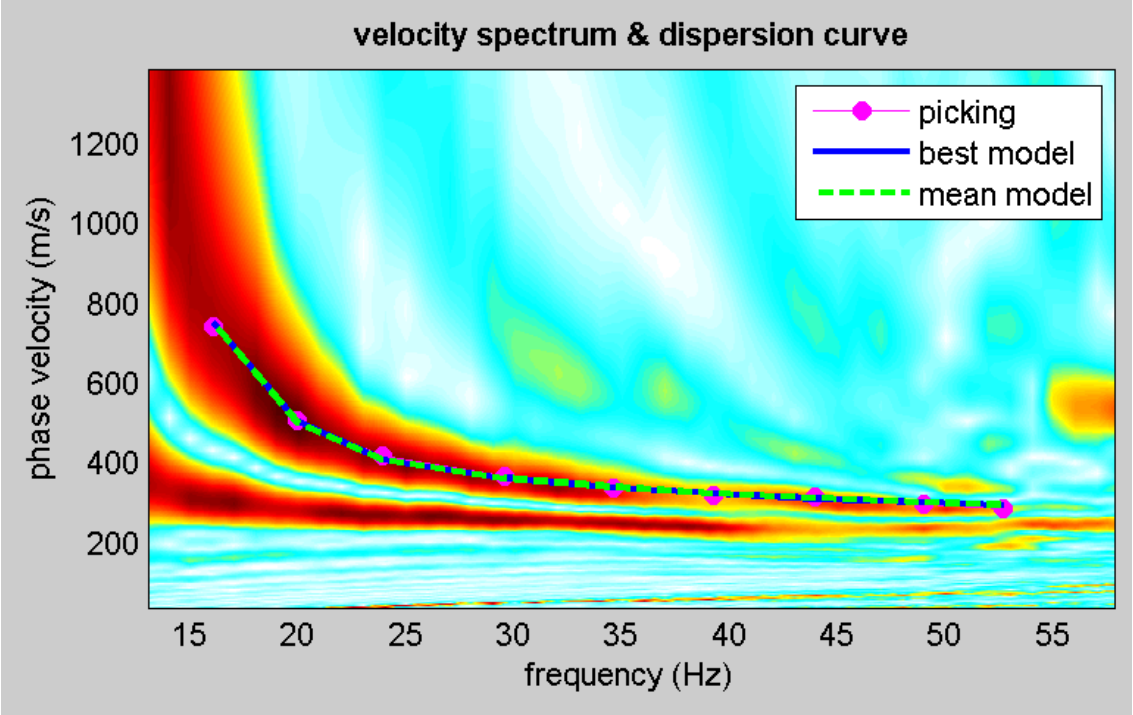
La procedura elaborativa prevede, sinteticamente, i seguenti passi:

- Trasformazione dei files in formato compatibile
- Immissione delle geometrie di acquisizione dei dati (sorgente e ricettori)
- Generazione dell'immagine di dispersione
- Analisi della curva di dispersione (picking)
- Verifica dei modi
- Modellazione e/o inversione
- Calcolo del parametro Vs30 dal profilo delle velocità di taglio

Il software utilizzato per l'interpretazione è WinMASW 4.1.1 Pro (Eliosoft).

Di seguito un esempio di acquisizione da cui si ottiene la curva di dispersione, ossia lo spettro di velocità calcolato a partire dalle tracce registrate sui geofoni dello stendimento. Viene riportato anche il piccaggio per la modellazione e/o inversione.



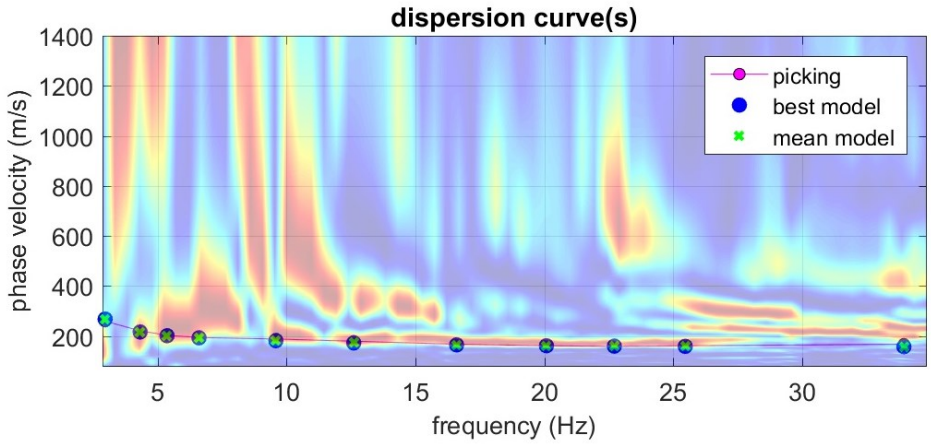


4 - RISULTATI

L'ubicazione della prova è riportata nel disegno n. 7600/1A.

L'immagine successiva propone la curva di dispersione ossia lo spettro di velocità calcolato a partire dalle tracce registrate.

MASW – Settimo Milanese (MI) – Via Reiss Romoli

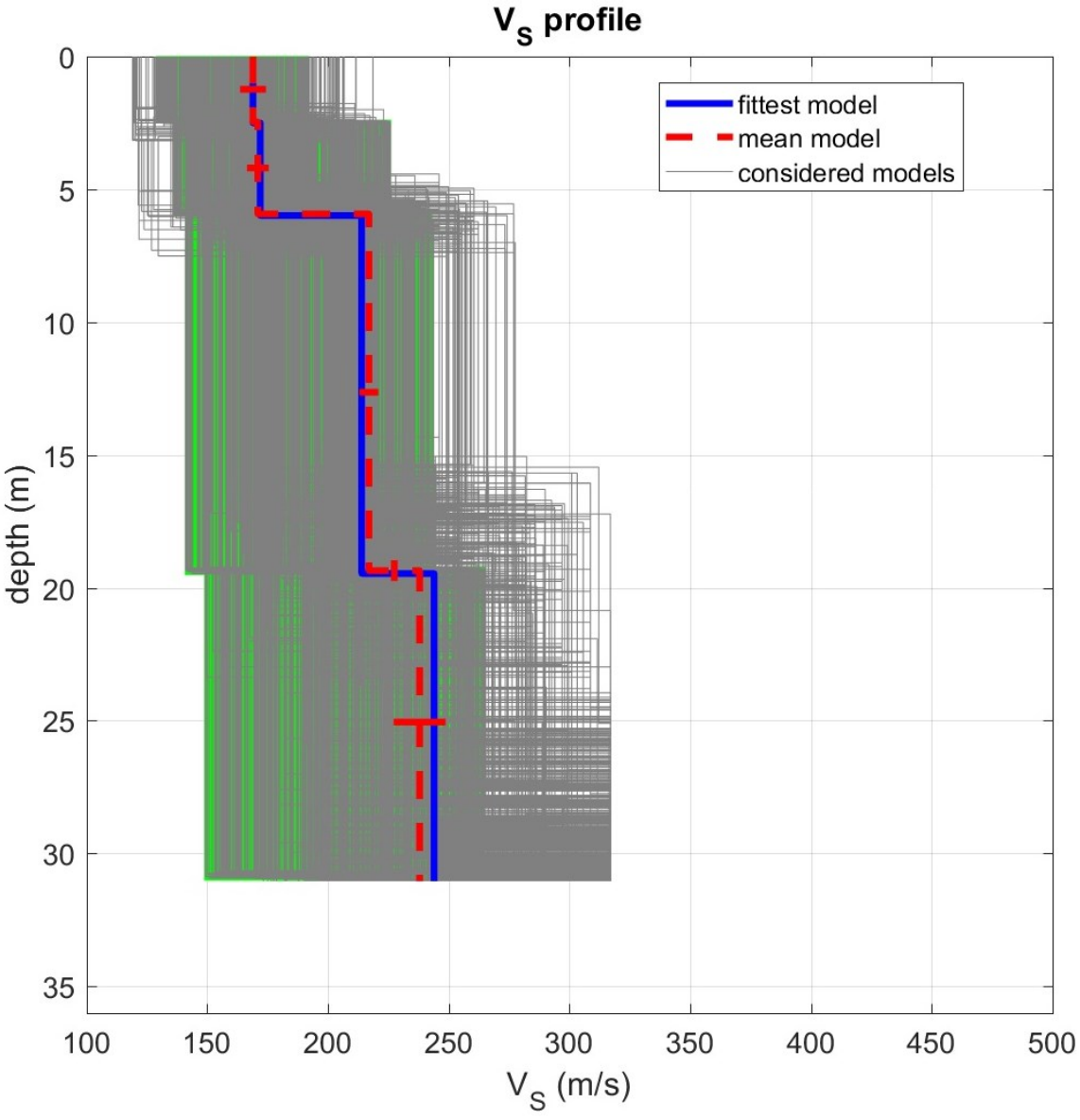


Spettro velocità sezione Masw

Il picking della curva e la modellazione diretta e/o dal processo di inversione, portano all'ottenimento della curva di dispersione interpretata e, di conseguenza, al profilo verticale delle onde di taglio Vs da cui si ricava il parametro Vs,eq richiesto dalla normativa.

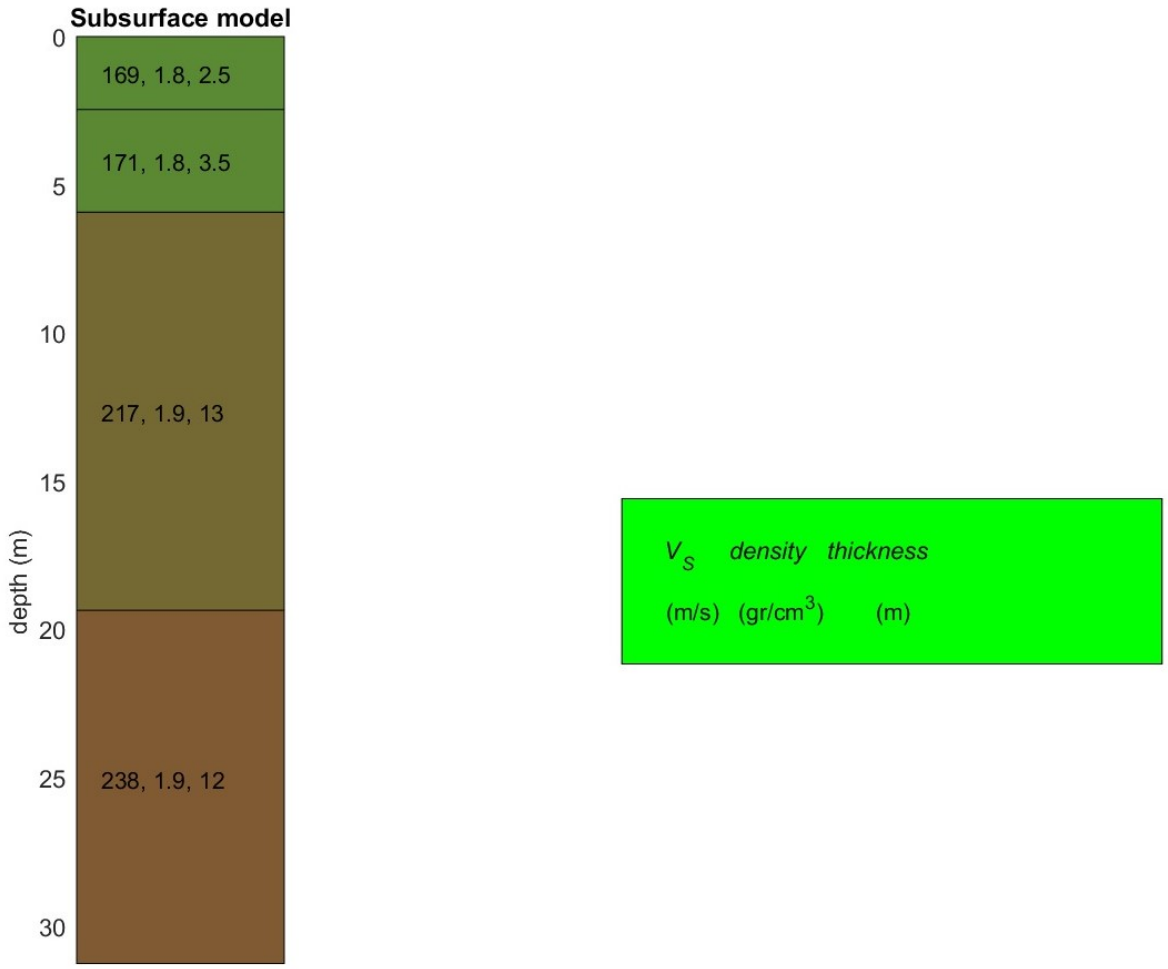
E' da tenere in considerazione che molteplici modelli di distribuzione delle velocità delle onde di taglio portano al medesimo risultato del parametro Vs,eq, ciò significa che senza un'opportuna disponibilità di dati stratigrafici attendibili il parametro di legge risulterà significativo, ma la distribuzione delle velocità sarà solamente indicativa.
Il grafico sotto riportato invece mostra il modello del profilo verticale Vs scelto come rappresentativo del singolo punto indagato.

MASW **SETTIMO MILANESE (MI)** **Via Reiss Romoli**	**Vs30 = 214 m/s**



STRATIGRAFIA

MASW – Settimo Milanese (MI) – Via Reiss Romoli



5 - CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI

L'analisi delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, il parametro Vs30 per il punto d'indagine.

La tabella sotto riportata mostra il valore Vs30 calcolato a partire dalla quota d'imposta fondazioni prevista (a m -1.00 circa dall'attuale piano campagna) e la classe di suolo di appartenenza rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018).

Nome prova	Vs30	Classe suolo
MASW SETTIMO MILANESE (MI) Via Reiss Romoli	**214 m/s**	**C**

"C" – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Bibliografia:

Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007, Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probabilità Density Evaluation, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55

Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 3; 800 -808.

6 – ZONIZZAZIONI SISMICHE PREVISTE DA N.T.C.

Viene qui sotto riportata la classificazione sismica dei suoli secondo la normativa ufficiale italiana (DM 17 gennaio 2018):

A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo di 3 m.

B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E – Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l.
CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.
VIA MINCIO, 22 – C.A.P. 20139 **M I L A N O** TEL. 02.5393977 – FAX 02.5392262
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it

SONDAGGI GEOGNOSTICI GEOTECNICI AMBIENTALI GEOARCHEOLOGICI – PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE INDAGINI E RICERCHE GEOLOGICHE E IDROLOGICHE - PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI - PROSPEZIONI GEOFISICHE GEOELETTRICHE - RILIEVI TOPOGRAFICI
C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO – COD.FISC.-PART.IVA 05092310969 – SOA 3405AL/57/01

Milano, Luglio 2024

Spett.le
DATA4 PMO by Hill International
Via Monzoro, 101
20007 CORNAREDO (MI)

Prot. 7600/D

INDAGINE GEOFISICA FINALIZZATA AGLI STUDI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RISPOSTA LOCALE METODOLOGIA RE.MI.

SETTIMO MILANESE (MI)
Via Reiss Romoli

Relazione

INDICE

1 – PREMESSA.....3

2 – CENNI TEORICI.....4

3 – ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....5

3.1 – Strumentazione utilizzata.....5

3.2 – Interpretazione dei dati.....6

4 – RISULTATI.....8

5 – CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI.....11

6 – ZONIZZAZIONI SISMICHE PREVISTE DA N.T.C.....12

1 - PREMESSA

Il giorno 15 Luglio 2024, è stata eseguita n.1 prospezione geofisica in un terreno in comune di Settimo Milanese (MI), Via Reiss Romoli – DC15 per la classificazione ai fini sismici dei terreni costituenti il sottofondo.
Al fine di caratterizzare la risposta sismica della zona in esame è stata registrata una sezione geosismica RE.MI. (Refraction Microtremor) che studia anch'essa la dispersione delle onde Rayleigh (come nelle prove Masw) ma con misure di sismica passiva, ovvero registrando microtremori provenienti da sorgenti ignote: "Rumori ambientali". Questa tecnica risulta utile a definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs).
Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 17 gennaio 2018.
Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio Vs,i.
La classificazione dei terreni si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio. Essa è definita dalla relazione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE ⟶

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

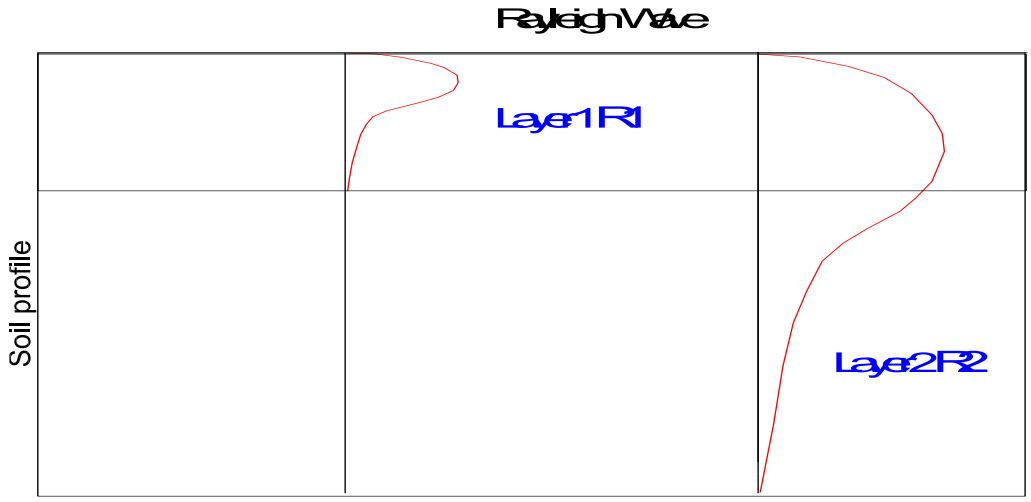
In cui Vs,i e hi sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato e lo spessore dell'i-esimo strato.
Con la metodologia REMI è possibile misurare la velocità di dispersione delle onde di taglio Vs a profondità maggiori ottenendo una stratigrafia del terreno.

2 - CENNI TEORICI

La metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) permette di ricavare le velocità delle onde di taglio verticali Vs dalla determinazione delle velocità delle onde superficiali.

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori posti in genere a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidezza e ai parametri elastici dei suoli attraversati.
E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè le alte frequenze e, quindi, con lunghezze d'onda corta, si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, invece le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia MASW può essere sia *attiva* che *passiva* o la combinazione di entrambe. Nel sistema attivo le onde superficiali vengono generate in un punto noto in modo non casuale e vengono registrate da stendimenti lineari di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento di ricezione può essere sia lineare che circolare e si misura il rumore di fondo ambientale esistente.

Il metodo attivo è quello che meglio permette la classificazione sismica dei suoli perchè fornisce con un miglior dettaglio il profilo delle velocità sismiche nei primi 30 metri da piano campagna. Infatti si ottiene una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra i 5 ed i 70 Hz la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Dall'utilizzo del metodo passivo Re. Mi. invece si ottiene una maggiore investigazione in termini di profondità con frequenze comprese tra i 4 ed i 20 Hz ma una minore risoluzione delle velocità degli strati, soprattutto quelli più superficiali.

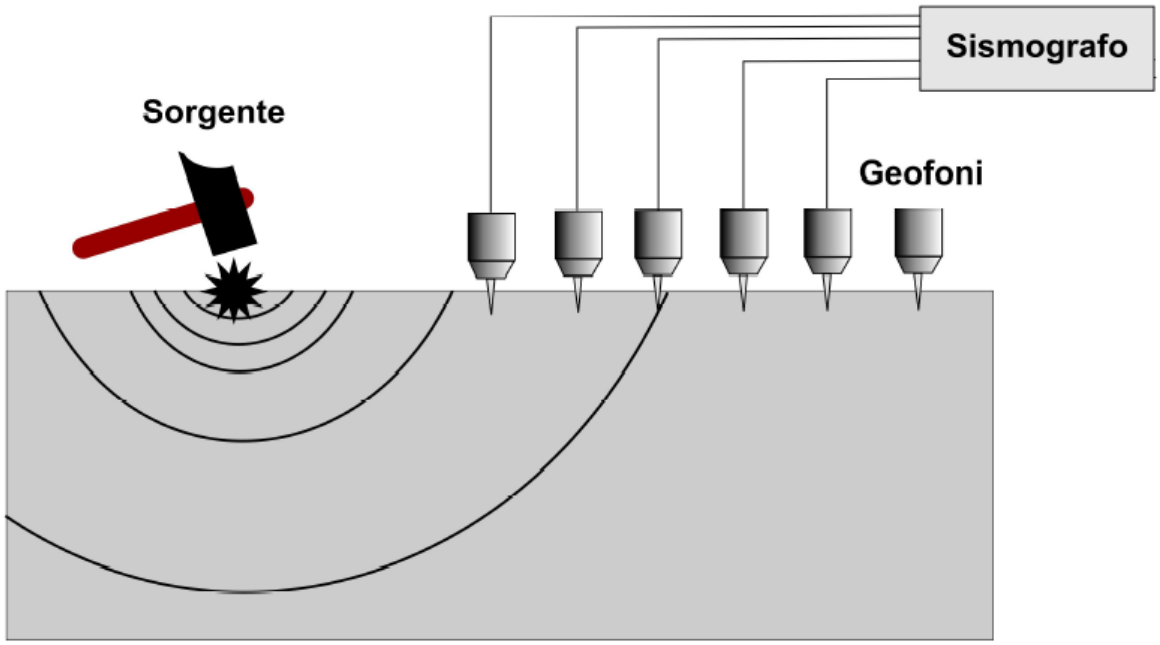
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le acquisizioni sono avvenute tramite l'utilizzo di un sismografo a 24 bit modello" ECHO 24/2010 Seismic Unit" che impiega 24 canali in registrazione.
Lo strumento viene collegato ai geofoni verticali aventi frequenza propria di 4,5 Hz, posizionati sul terreno a distanza di 2 metri. Il tempo di registrazione dello strumento è fissato in 120 secondi. Di seguito si elencano le caratteristiche tecniche della strumentazione impiegata:

Number of channels:	24+1
A/D Conversion:	24 bits
Dynamic range:	130 dB @ 1ms PG=0 dB 120 dB @ 1ms PG=18 dB
Cross talk:	>90 db
Preamplify gain:	0 db, 6 db, 12 db, 24 db, 30 db, 36 db
Frequency response:	0 to 6 KHz (30kSPS) 0 to 4,8 KHz (15kSPS) 0 to 3 KHZ (7,5kSPS) 0 to 1,5 Khz (3,5kSPS) 0 to 800Hz (2kSPS) 0 to 400Hz (1kSPS)
Acquisition and display filter:	Low Cut Out 10.15.25.35.50.70.100.200.280.400 Hz
Sampling interval:	32us,64us,128us,256us,480us,960us
Record length:	16000 samples
Stacking trigger accuracy:	1/32 of samples interval
Distorsion (THD):	0,0004 %
Max input signal:	2Vpp, Odb
Common Mode Rejection:	110 dB
Noise:	0,25 uV, 2ms, 36 Db
Pre-trigger data:	524 ms @ 32 us sample interval
Delay:	0 to 2500 ms step 10 ms
Temperature range:	-30°C/+70°C
Power:	12 Volts
Continuos recording:	HVSR
Output format:	SEG - Y

Di seguito viene riportata una figura che illustra la disposizione dei sensori e la trasmissione dell'impulso nel caso di una prova Masw tradizionale.
Nella metodologia REMI non esiste invece una sorgente precisa delle onde registrate ma, sul medesimo stendimento, vengono acquisiti dai geofoni "aperti" i rumori di fondo ("microtremori"), provenienti da sorgenti ignote e da distanze ignote, anche lontane.



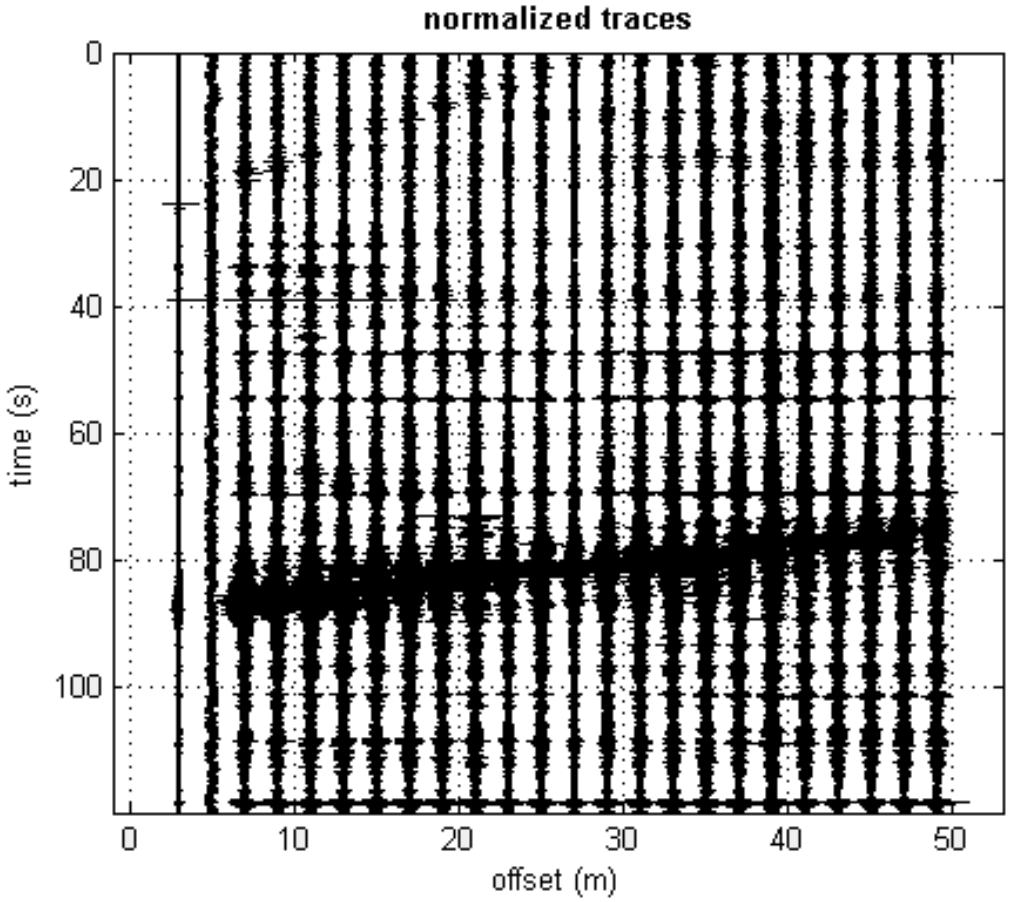
3.2 INTERPRETAZIONE DEI DATI

La procedura elaborativa prevede, sinteticamente, i seguenti passi:

- Trasformazione dei files in formato compatibile
- Immissione delle geometrie di acquisizione dei dati (sorgente e ricettori)
- Generazione dell'immagine di dispersione
- Analisi della curva di dispersione (picking)
- Verifica dei modi
- Modellazione e/o inversione
- Calcolo del parametro Vs30 dal profilo delle velocità di taglio

Il software utilizzato per l'interpretazione è WinMASW 4.1.1 Pro (Eliosoft).

Di seguito un esempio di acquisizione da cui si ottiene la curva di dispersione, ossia lo spettro di velocità calcolato a partire dalle tracce registrate sui geofoni dello stendimento.

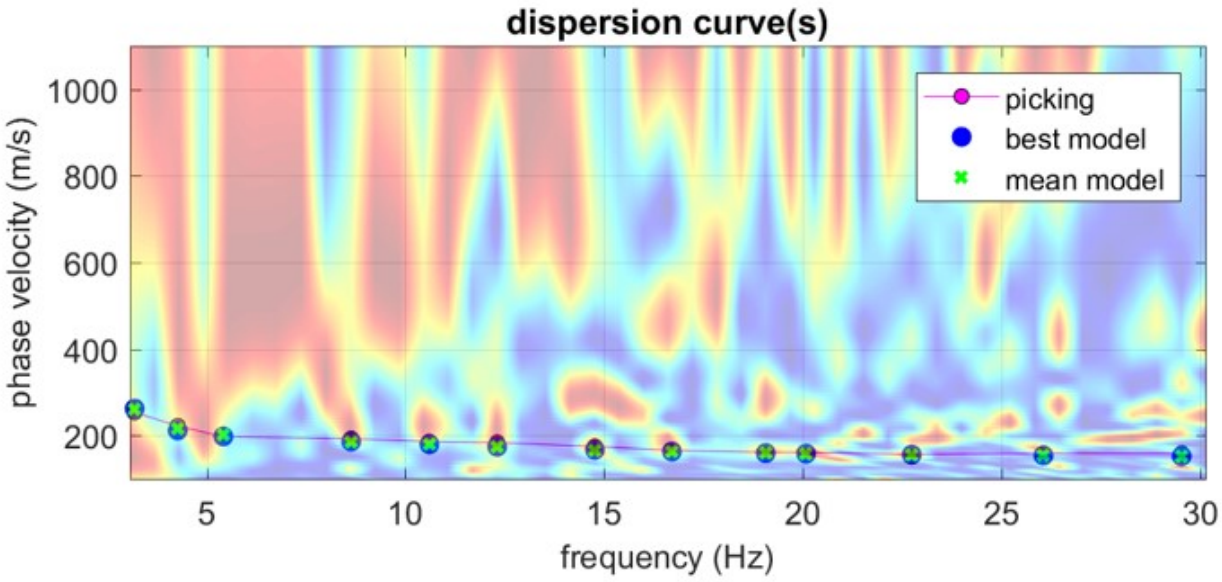


4 - RISULTATI

L'ubicazione delle prove è riportata nel disegno n. 7600/1A.

L'immagine successiva propone la curva di dispersione ossia lo spettro di velocità calcolato a partire dalle tracce registrate.

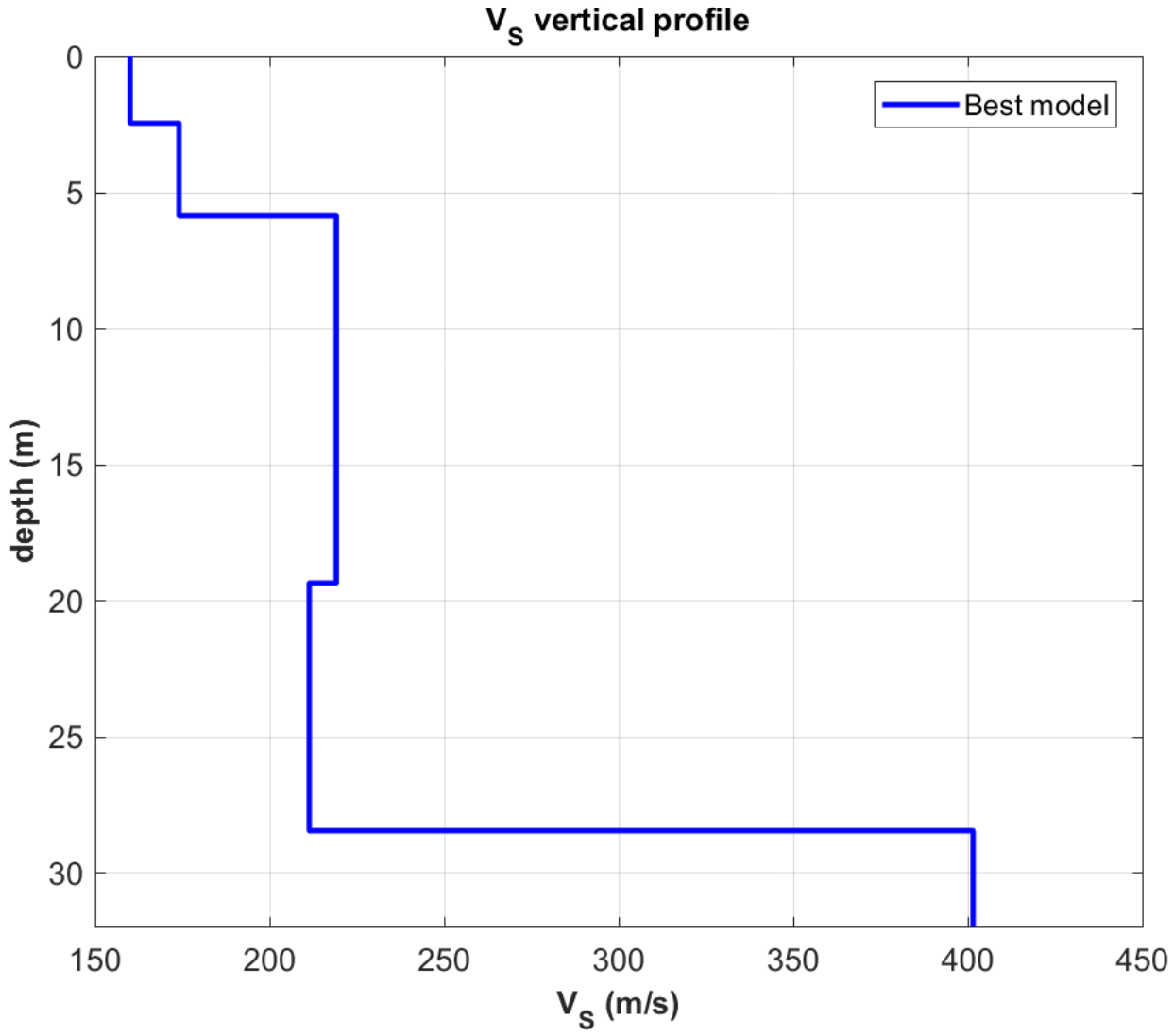
RE.MI. – SETTIMO MILANESE – DC15



Spettro velocità sezione ReMi

Il picking della curva e la modellazione diretta e/o dal processo di inversione, portano all'ottenimento della curva di dispersione interpretata e, di conseguenza, al profilo verticale delle onde di taglio Vs da cui si ricava il parametro Vs30 richiesto dalla normativa.

E' da tenere in considerazione che molteplici modelli di distribuzione delle velocità delle onde di taglio portano al medesimo risultato del parametro Vs30, ciò significa che senza un'opportuna disponibilità di dati stratigrafici attendibili il parametro di legge risulterà significativo, ma la distribuzione delle velocità sarà solamente indicativa.
Il grafico sotto riportato invece mostra il modello del profilo verticale Vs scelto come rappresentativo del punto indagato.



Remi	**Vs30 = 211 m/s**

STRATIGRAFIA

RE.MI. – SETTIMO MILANESE – DC15

5 - CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI

L'analisi delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica passiva (REMI) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, il parametro Vs30 per il punto indagato.

La tabella sotto riportata mostra il valore Vs30 calcolato e la classe di suolo di appartenenza rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018)**.**

Nome prova	Vs30	Classe suolo
RE.MI.	**211 m/s**	**C**

"C" – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Bibliografia:

Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P.,2007,Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probabilità Density Evaluation, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55

Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 3; 800-808.

6 – ZONIZZAZIONI SISMICHE PREVISTE DA N.T.C.

Viene qui sotto riportata la classificazione sismica dei suoli secondo la normativa ufficiale italiana (DM 17 gennaio 2018):

A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo di 3 m.

B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E – Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l.
CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.
VIA MINCIO, 22 – C.A.P. 20139 **M I L A N O** TEL. 02.5393977 – FAX 02.5392262
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it

SONDAGGI GEOGNOSTICI GEOTECNICI AMBIENTALI GEOARCHEOLOGICI – PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE INDAGINI E RICERCHE GEOLOGICHE E IDROLOGICHE - PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI - PROSPEZIONI GEOFISICHE GEOELETTRICHE - RILIEVI TOPOGRAFICI
C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO – COD.FISC.-PART.IVA 05092310969 – SOA 3405AL/57/01

Milano, Luglio 2024

Spett.le
DATA4 PMO by Hill International
Via Monzoro, 101
20007 CORNAREDO (MI)

Prot. 7600/C

INDAGINE GEOFISICA FINALIZZATA AGLI STUDI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RISPOSTA LOCALE METODOLOGIA HVSR

SETTIMO MILANESE (MI)
Via Reiss Romoli

Relazione

INDICE

1.0	PREMESSA	3
2.0	BASI TEORICHE	3
3.0	OPERATIVITÀ DI CAMPO E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
4.0	ELABORAZIONE DEI DATI E RISULTATI	7
5.0	CONCLUSIONI	8

1.0 PREMESSA

Il giorno 15 Luglio 2024, è stata eseguita una prospezione geofisica in un terreno in Comune di Settimo Milanese (MI), Via Reiss Romoli.

Tra le varie attività svolte sul sito soggetto ad indagine è stata eseguita n. 1 registrazione di sismica passiva (microtremori, microsismi) il cui scopo è la determinazione del valore di frequenza propria (frequenza di risonanza) del sito f_0 e relativo periodo proprio (periodo di risonanza) $\mathbf{T}_0$.

2.0 BASI TEORICHE

Le tecniche di sismica passiva sono basate sulla misura e l'analisi delle vibrazioni del terreno indotte da sorgenti non controllate. In particolare, "*l'ambient vibration seismology*" è basata sullo studio del cosiddetto "*rumore* sismico ambientale". Il termine "rumore" è mutuato dalla sismologia nella quale costituiva un elemento di disturbo rispetto al "segnale" costituito dai cosiddetti "eventi sismici" o terremoti di origine tettonica. Le vibrazioni ambientali dipendono da:

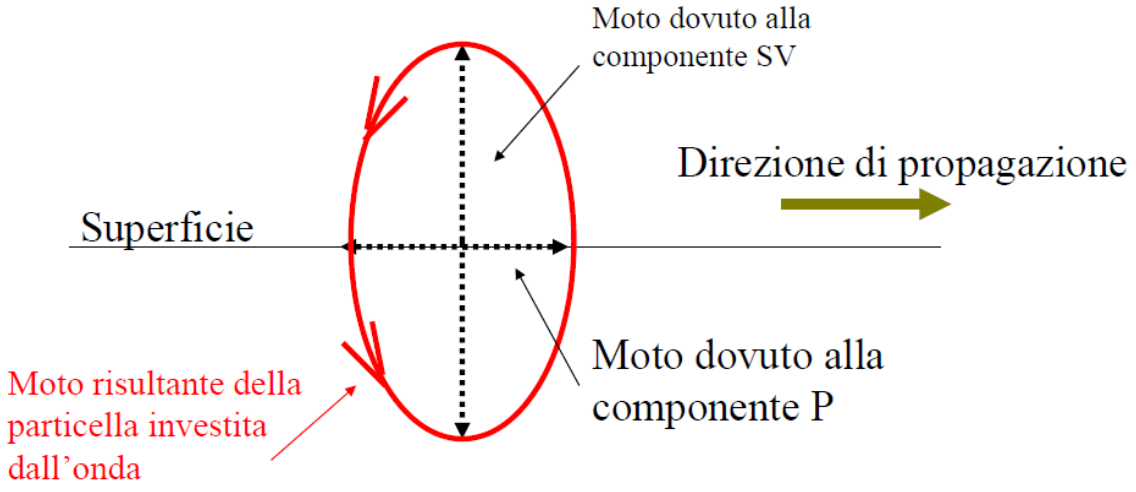
- forma e distribuzione delle sorgenti;
- rapporto esistente fra le sorgenti;
- modalità di propagazione dell'energia dalle sorgenti e, quindi, dalle caratteristiche del sottosuolo.

L'ultimo punto è del massimo interesse. Infatti, se è possibile stabilire delle relazioni tra la forma dello spettro medio e la struttura del sottosuolo, allora è possibile utilizzare il campo di rumore ambientale per la caratterizzazione dinamica (nel dominio delle piccole deformazioni) dei terreni in situ. Le vibrazioni ambientali sono costituite da piccole vibrazioni del terreno (spostamenti dell'ordine di $10^{-4} \div 10^{-3}$ cm, in un intervallo di frequenze che è possibile osservare sperimentalmente in qualunque punto della Terra. Viene di volta in volta anche designato con i termini di rumore sismico (seismic noise), microtremore (microtremor), microsismi (microseisms), rumore ambientale (ambient vibrations) Questo tipo di fenomeno è stato indagato sin dai primordi della sismologia strumentale ma negli ultimi anni c'è stata una progressiva crescita interesse dei sismologi e degli ingegneri in vista delle sue potenziali applicazioni per la caratterizzazione dinamica del sottosuolo e delle strutture edilizie. Se si considerano solo siti posti su roccia e lontano da centri urbani o siti industriali, le proprietà spettrali medie delle vibrazioni ambientali mostrano una forma spettrale largamente indipendente dalla posizione. Quando ci si sposta però vicino ad aree urbane e su sedimenti la situazione cambia. In generale, studi di questo genere nel corso degli anni hanno messo in evidenza che il rumore ambientale può essere differenziato in tre domini di frequenza:

- Bassa frequenza (<0.5 Hz) - Microsisma. È di origine essenzialmente naturale con sorgenti di grandi dimensioni spaziali (onde oceaniche, grandi perturbazioni atmosferiche); ha un carattere stazionario (ovvero le sue proprietà statistiche non cambiano nel tempo) alla scala delle ore e dei giorni;
- Alta frequenza (>1 Hz) – Microtremore. È di origine essenzialmente antropica (traffico veicolare e pedonale, attività industriale, ecc.) e talvolta naturale ma a scala locale (vento sugli edifici e le piante, ecc.); mostra carattere significative variazioni alla scala delle attività antropiche (giorno/notte, festivi/feriali, ecc.).
- Frequenza intermedia (<1 Hz e >0,5 Hz);

A seconda delle caratteristiche del sottosuolo, sia sorgenti naturali che antropiche possono condizionare le vibrazioni ambientali, con un livello di stazionarietà variabile da caso a caso. Si noti che in bassa frequenza le vibrazioni hanno grandi lunghezze d'onda (centinaia o migliaia di metri) e quindi devono essere generate da fenomeni a larga scala.
In linea generale il campo indagato con la strumentazione usualmente utilizzata per i rilievi sismici sono strumenti con frequenza propria di oscillazione tra 1,0 Hz e 4,5 Hz , frequenze

entro le quali possono essere presenti onde superficiali, con particolare riferimento a onde di Love e onde di Rayleigh. Le onde di Rayleigh sono generate dall'interferenza costruttiva di onde P e onde Sv (onde S polarizzate sul piano verticale) incidenti sulla superficie libera del terreno. Sono onde con polarizzazione ellittica su un piano verticale parallelo alla direzione di propagazione (ground roll).


Moto dovuto alla componente SV
Direzione di propagazione
Superficie
Moto dovuto alla componente P
Moto risultante della particella investita dall'onda

Le particelle investite da un'onda di Rayleigh, si muovono sia in direzione verticale che orizzontale seguendo una traiettoria ellittica retrograda antioraria (polarizzazione ellittica). Il rapporto fra la componente orizzontale e verticale del moto (rapporto H/V o ellitticità) dipende dalle caratteristiche della sorgente e da quelle del sottosuolo, inoltre varia con la frequenza di vibrazione. L'ellitticità delle onde di Rayleigh cambia con la lunghezza d'onda (o con la frequenza) in rapporto alla struttura del sottosuolo ed in particolare dal profilo di velocità delle onde S. Per esempio, si vede che nel caso di uno strato soffice sovrapposto ad un semispazio, in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza f_0 (inverso del periodo proprio $\mathbf{T}_0$) per le onde S (Vs/4H), la componente verticale del moto si annulla (-> 0) rendendo molto grande il rapporto fra componente orizzontale del moto e componente verticale (rapporto H/V).

3.0 OPERATIVITÀ DI CAMPO E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il metodo HVSR con singola stazione è stato inizialmente sviluppato in Giappone da Nogoshi e Igarashi (1971) per caratterizzare la risposta di sito sotto azione sismica ed è stato successivamente reso popolare e diffusa al mondo occidentale da Nakamura (1989).

Questo metodo consiste nel calcolo del rapporto (tipicamente indicato come H/V) della media delle componenti orizzontali rispetto alla componente verticale dello spettro di Fourier del rumore ambientale, registrato in un unico sito da un sensore tridimensionale (velocimetro 3D). L'evidenza empirica, supportata da simulazioni numeriche, indica che il massimo del rapporto spettrale H/V avviene, generalmente, a livello o vicino alla frequenza di risonanza fondamentale del sito, a condizione che vi sia un contrasto d'impedenza sufficientemente forte in profondità (si veda ad esempio Bonilla et al, 1997; Bour et al, 1998; Bard, 1999; Woolery e Street, 2002; Haghshenas et al., 2008).

Visto il basso costo di acquisizione e della semplicità di utilizzo, questo metodo è ampiamente usato in progetti di Microzonazione Sismica e per calibrare la Risposta Sismica Locale relativamente ad analisi numeriche. Poiché la frequenza fondamentale di un sito è legata alla velocità media delle onde di taglio del profilo del terreno e dal suo spessore, il metodo viene spesso utilizzato come strumento di esplorazione geofisica per stimare uno dei questi due parametri, conoscendo l'altro.

Bonnefoy - Claudet et al., 2006 hanno dimostrato, per esempio, che a seconda della distribuzione spaziale della sorgente del rumore e la sua natura, il contrasto d'impedenza suolo/roccia, lo spessore dello strato di copertura e la forma del rapporto spettrale H/V potrebbero essere spiegati per mezzi stratificati orizzontalmente, mediante semplice risonanza delle onde di taglio, l'ellitticità del modo fondamentale delle onde di Rayleigh o dalla fase Airy del modo fondamentale delle onde di Love.

La complessa interazione tra onda-campo di disturbo e la struttura geologica non è ancora ben compresa e ciò limita le informazioni che possono essere recuperate in modo affidabile da misure di singole stazioni. Il rapporto spettrale H/V da solo non può essere invertito in un profilo di velocità delle onde di taglio, salvo ulteriori informazioni fornite dal contributo di onde Rayleigh, onde di Love e dalla profondità del bedrock (ad esempio Castellaro e Mulargia , 2009b; Hobiger et al, 2009, Foti et al , 2011).

Un'altra conseguenza di questa interazione complessa è che l'ampiezza del picco (s) del rapporto H/V non è proporzionale all'amplificazione del moto del suolo (ad esempio Bonilla et al , 1997; Bard , 1999). L'interfaccia geologica che si riferisce al picco sulle curve H/V o del picco minimo di frequenza o il contrasto di impedenza più grande, in molti casi non è sempre all'inizio della roccia (bedrock), ma può essere in un'interfaccia all'interno del terreno di copertura.

Ciò significa che in molti contesti geologici il metodo H/V è in grado di recuperare le informazioni relative del primo e più forte contrasto d'impedenza e quindi non può essere utilizzato come strumento di esplorazione per mappare la topografia del substrato roccioso (bedrock), tali e/o simili comportamenti sono stati documentati da Lunedei e Albarello (2010).

Per l'acquisizione dei dati di campo è stato utilizzato un geofono 3D (tromografo) installato nel punto indicato dalle specifiche fornite dalla Committente. Il tromografo possiede un periodo proprio di 4,5 Hz. Nell'immagine seguente è mostrata la planimetria con l'ubicazione del rilievo HVSR.

Planimetria con ubicazione delle indagini

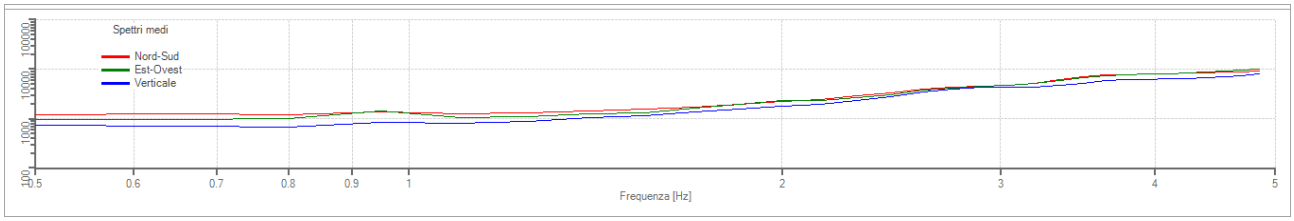
4.0 ELABORAZIONE DEI DATI E RISULTATI

I dati acquisiti sono stati elaborati con il Software EasyHVSR di Geostru, che segue le direttive suggerite dal Progetto Europeo SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations) la cui descrizione ufficiale è fornita a seguito:

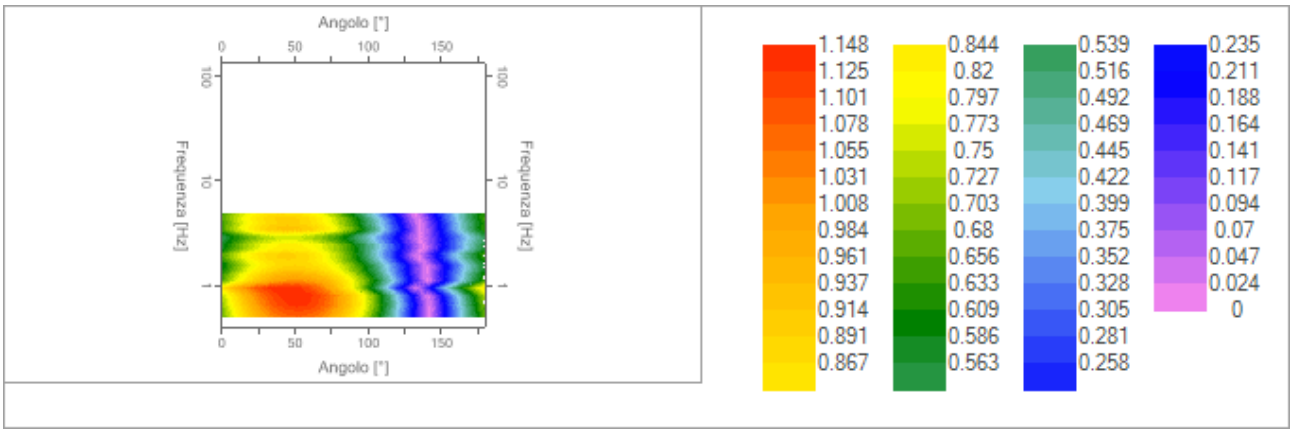
The SESAME project deals with the important issue of site effect estimation for seismic risk mitigation, with a special attention to urban areas. It focuses on two lowcost techniques using ambient seismic vibrations, and aims at clarifying their actual ability to provide useful, direct or indirect, information for local amplification estimates.

The first technique, a very simple one, is the so-called H/V technique advertised by Nakamura; the second, more advanced, one uses noise array measurements to derive the dispersion curves of surface waves, and from that the velocity profile. The proposed work includes a theoretical and numerical part to better understand the nature of seismic noise, and to develop validated numerical tools to simulate seismic noise in arbitrary environments. It also includes thorough experimental and data processing investigations to clearly assess the stability, robustness, reliability and physical meaning of these 2 techniques.

Di seguito è possibile visualizzare il grafico con la media degli spettri nelle tre direzioni (Nord-Sud; Est-Ovest; verticale).



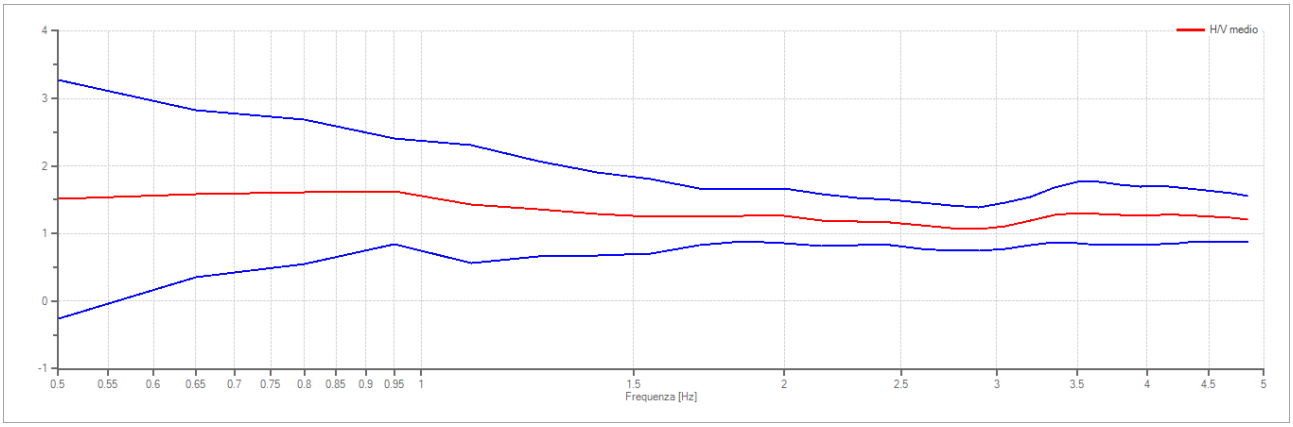
Viene anche effettuata un'analisi della direzionalità degli spettri in modo da evidenziare e verificare eventuali disturbi polarizzati provenienti da una sorgente che abbia una direzione preferenziale.



Mappa della direzionalità degli spettri

Questo grafico mostra l'andamento del rapporto spettrale H/V al variare dell'angolo formato dalla direzione di registrazione ed il sistema di riferimento. Nel calcolo si ricompone lo spettro in una direzione facendo variare i due sistemi di riferimento (quello dello strumento e quello di riferimento del calcolo) attraverso una rotazione intorno all'asse verticale, da 0 a 180°.
Sull'asse delle ascisse sono presenti i gradi di questa rotazione, sull'asse delle ordinate le frequenze e la mappa di colori rappresenta l'ampiezza spettrale del rapporto H/V. Ogni punto della mappa rappresenta l'ampiezza spettrale ad un data frequenza per un dato angolo di inclinazione della direzione dello spettro orizzontale rispetto al sistema di riferimento.

In base all' elaborazione eseguita, di seguito lo spettro HV/***f*** risultante.



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

I risultati evidenziano la frequenza del picco del rapporto H/V (criteri SESAME) di **0.95 Hz.**

L'elaborazione è stata condotta con i seguenti criteri generali di settaggio:

Numero totale finestre selezionate:	158
Numero finestre incluse nel calcolo:	158
Dimensione temporale finestre:	20.000 s
Durata della registrazione:	3600 s

5.0 CONCLUSIONI

In base ai dati raccolti ed elaborati il sito presenta una configurazione entro la quale sono rilevabili le seguenti conclusioni:

- L'area nel suo complesso ha f_0 di 0.95 Hz corrispondente a T_0 (periodo proprio di risonanza) di circa 1,05 s.

Regione Lombardia

MODULO 9

DICHIARAZIONE/ ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.1 NTC 2018 e/o DALLA D.G.R. 2616/2011

Il sottoscritto PATERNÒ LUIGI MAURIZIO

iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione LOMBARDIA incaricato in data 08/07/2024

da STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI S.R.L.

per conto di DATA4 PMO by Hill International Via Monzoro n. 101 – CORNAREDO (Milano)

di redigere la relazione geologica relativa al seguente intervento

REALIZZAZIONE EDIFICIO DC15

da eseguire in Comune di SETTIMO MILANESE Località

indirizzo VIA REISS ROMOLI n° 35 CAP 2 0 0 1 9

Comune Catastale I700 Foglio n. 15 Mappale o Particella 67,27,159

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno dai benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- ○ D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- ◉ D.G.R. 2616/2011 e D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- ○ D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018), recependo quanto contenuto in una relazione geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. 2616/2011 per il rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, nello studio geologico comunale (PGT vigente) redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005, al sito di intervento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geologiche:

1. SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.1

☐ Z1 Instabilità dei versanti ☐ Z2a Cedimenti ☐ Z2b Liquefazione

☐ Z3 Amplificazione topografica ☑ Z4 Amplificazione Stratigrafica

☐ Z5 Comportamenti differenziali ☐ Nessuno scenario

1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- ○ Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)*
- ○ Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)*
- ◉ Analisi di secondo livello non effettuata

* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.1

- ○ 1 senza particolari limitazioni
- ○ 2 con modeste limitazioni
- ◉ 3 con consistenti limitazioni
- ○ 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.2

- ☐ a) Instabilità dei versanti
- ☑ b) Vulnerabilità idrogeologica
- ☐ c) Vulnerabilità idraulica
- ☐ d) Scadenti caratteristiche geotecniche
- ☐ nessuna particolare limitazione

DICHIARA INOLTRE

in fase di predisposizione dello studio geologico a supporto della progettazione

C. di aver seguito tutte le prescrizioni previste dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di SETTIMO MILANESE

D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR 2616/2011, conformemente alle linee guida disponibili:

- ☐ Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
- ☐ Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
- ☐ Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
- ☐ Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
- ☑ Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
- ☐ Nessun particolare approfondimento

E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:

☑ indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo

SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO + DPSH

☐ indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo

F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:

○ analisi di risposta sismica locale

◉ procedura semplificata basata sulla definizione della categoria di sottosuolo, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria di sottosuolo:

○ A ○ B ◉ C ○ D ○ E

mediante la seguente tipologia d'indagine MASW

la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:

○ analisi di risposta sismica locale

◉ procedura semplificata basata sulla definizione della categoria topografica, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria topografica:

◉ T1 ○ T2 ○ T3 ○ T4

mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala 10000

la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:

◉ esclusione della verifica (paragrafo 7.11.3.4.2 NTC 2018), opportunamente motivata in relazione

○ verifica della stabilità (paragrafo 7.11.3.4.3 NTC 2018) mediante la seguente metodologia

I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:

- (●) senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
- ( ) previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
- ( ) previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
  - ( ) non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente
  - ( ) sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti .

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 e del Dlgs 101/2018 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

luogo MILANO data 01/08/2024

IL GEOLOGO

LUIGI MAURIZIO PATERNÒ

(timbro e firma)

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - INSTABILITA'

Nel caso di scenari PSL di tipo Z1a, Z1b e Z1c (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011) per tipologia di frane in terra

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	☐ Modello geologico del sito ☐ Classificazione USCS dei materiali ☐ Modello geotecnico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	☐ Analisi all'equilibrio limite in condizioni statiche (FS) e pseudo-statiche (FS_{PS})		
Risultati al 1° grado di approfondimento	☐ $FSps \geq 1.3$ **Fine approfondimento SITO STABILE**	☐ $1.1 \leq FSps < 1.3$ Obbligo del 2° grado di approfondimento	☐ $FSps < 1.1$ Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		☐ Prove in sito per determinazione indiretta dei parametri di resistenza	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		☐ Stima dello spostamento atteso mediante relazioni empiriche disponibili in letteratura opportunamente scelte e motivate	
Risultati al 2° grado di approfondimento		☐ Spostamento ≤ 2 cm **Fine approfondimento SITO STABILE**	☐ Spostamento > 2 cm Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			☐ Rilievo topografico di dettaglio ☐ Indagine di sismica rifrazione ☐ Indagini in sito di tipo diretto tramite sondaggio/i a carotaggio continuo ☐ Prove in foro ☐ Prove di laboratorio su campioni indisturbati
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			☐ Analisi dinamiche semplificate (metodo degli spostamenti)
Risultati al 3° grado di approfondimento			☐ Spostamento ≤ 5 cm **Fine approfondimento SITO STABILE** ☐ Spostamento > 5 e ≤ 15 cm **Verifica DI AMMISSIBILITA' DELLO SPOSTAMENTO** ☐ Spostamento > 15 cm **OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO**

☐ Eventuali verifiche di stabilità con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - AMPLIFICAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z3, Z4 e relativi sottotipi (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011), qualora l'analisi sismica di II° livello non fosse stata eseguita nel sito d'indagine, sebbene obbligatoria, o fosse stata eseguita ma il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) risulti maggiore del valore di soglia comunale (FAS), *previo specifica tolleranza ammessa dalla normativa regionale (Allegato 5 D.G.R. 2616/2011); tali approfondimenti saranno da prevedere anche nel caso dello scenario PSL di tipo Z5 (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011)

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	☐ Modello sismo-stratigrafico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	☐ Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR 2616/2011 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: 1- Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2- Assenza di inversioni di velocità significative 3- Contrasti di impedenza sismica < 3 4- Valori di VSH > 250 m/s		
Risultati al 1° grado di approfondimento	☐ FAC ≤ FAS* **Fine approfondimento** Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al V_{S30} misurato ☐ FAC > FAS* **Fine approfondimento** Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato	☐ FAC > FAS* Nel caso non siano disponibili schede di II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni 2° grado di approfondimento	☐ Non applicabilità dell'analisi di II° livello Obbligo del 3° grado di approfondimento Oppure nel caso ☐ FAC > FAS* e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		☐ Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		☐ Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo di FAC	
Risultati al 2° grado di approfondimento		☐ FAC ≤ FAS* **Fine approfondimento** Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al V_{S30} misurato ☐ FAC > FAS* **Fine approfondimento** Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato	Nel caso ☐ FAC > FAS* e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato 3° grado di approfondimento

Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			☐ Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			☐ Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			☐ Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione **Fine approfondimento**

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - LIQUEFAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z2b (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011) soggetti a fenomeni di liquefazione

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	☐ Valore di Magnitudo massima attesa ☑ Valore di a_{max} in superficie ☑ Soggiacenza della falda ☐ Curva granulometrica e valori di resistenza penetrometrica normalizzata negli orizzonti non coesivi saturi presenti entro il volume significativo di sottosuolo		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	☑ Valutazione dei requisiti per l'esclusione della verifica di sicurezza alla liquefazione		
Risultati al 1° grado di approfondimento	☑ Assenza dei fattori scatenanti e/o predisponenti **Fine approfondimento SITO STABILE**	☐ Presenza dei fattori scatenanti e predisponenti Obbligo del 2° grado di approfondimento	
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		☐ Prove in sito per determinazione indiretta dei parametri di resistenza ciclica CRR ☐ Determinazione sperimentale della frazione di fine FC alle profondità di analisi	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		☐ Stima del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FL) tramite applicazione puntuale di metodi storico-empirici ad almeno 3 diverse profondità ritenute significative	
Risultati al 2° grado di approfondimento		☐ FL ≥ 1.0 (per tutti i punti d'analisi) **Fine approfondimento SITO STABILE**	☐ FL < 1.0 (per almeno un punto d'analisi) Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			☐ Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTe) o piezocono (CPTu)
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			☐ Stima dell'andamento del coefficiente di sicurezza alla liquefazione con la profondità tramite applicazione di metodi storico-empirici e calcolo del potenziale di liquefazione I_L valido per una profondità critica almeno pari al volume significativo di sottosuolo
Risultati al 3° grado di approfondimento			☐ $I_L \leq 2.0$ **Fine approfondimento SITO STABILE** ☐ $2.0 < I_L \leq 5.0$ **Verifica DI AMMISSIBILITA' DELLO SPOSTAMENTO** ☐ $I_L > 5.0$ **OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO**

☐ Eventuali verifiche di sicurezza con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)

REPUBBLICA ITALIANA
MINISTERO DELL'INTERNO
CA86259NC
CARTA DI IDENTITÀ / IDENTITY CARD
COMUNE DI / MUNICIPALITY
CISLIANO
COGNOME / SURNAME
PATERNO'
NOME / NAME
LUIGI MAURIZIO
LUOGO E DATA DI NASCITA
PLACE AND DATE OF BIRTH
RAVANUSA (AG) 30.08.1963
SESSO
SEX
M
STATURA
HEIGHT
178
CITTADINANZA
NATIONALITY
ITA
EMISSIONE / ISSUING
04.10.2022
SCADENZA / EXPIRY
30.08.2032
FIRMA DEL TITOLARE
HOLDER'S SIGNATURE
680430

COGNOME E NOME DEL PADRE E DELLA MADRE O DI CHI NE FA LE VECV
FATHER AND MOTHERS-TUTOR'S NAME
CODICE FISCALE
FISCAL CODE
PTRLMR63M30H194L
ESTREMI ATTO DI NASCITA
93 p1 sA-1963 084031
INDIRIZZO DI RESIDENZA / RESIDENCE
Via Francesco Petrarca, N. 39 SC. B INT. 3 CISLIANO (MI)
C<ITACA86259NC9<<<<<<<<<<<<<<<
6308306M3208302ITA<<<<<<<<<<<6
PATERNO<<LUIGI<MAURIZIO<<<<<<<